VOL. 29, Nº 2 DICIEMBRE 2009 ISSN 0717-2915

Revista Journal SELPER

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL
SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAI
LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

Ciudad de Santa María - Brasil
Imágen de satélite QuickBird de DigitalGlobe

REVISTA JOURNAL

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL • SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAI • LATINAMERICAN SOCIETY ON REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEM

SELPER

VOL. 29 Nº 2 DICIEMBRE 2009 ISSN 0717-2915

FOTO PORTADA

Santa María - Brasil

Imagen de satélite QuickBird de DigitalGlobe, producto Pansharpened resolución espacial 0.60 metros, en composición Color Natural (3,2,1) de la Ciudad de Santa María tomada el 03 de Mayo de 2009. Santa Maria, también conocida como Santa Maria da Boca do Monte por ubicarse en una región rodeada por montes es un municipio brasileño del Estado de Río Grande del Sur. Santa Maria es sede una de las mayores Universidades públicas de Brasil, la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM). En la imagen se observa el Lago Barragem con su importante diversidad biológica.

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE CUBA 2008 - 2010
UCT GEOCUBA IC
Calle 4 No. 304, e/ 3ra y 3ra A
Miramar, Playa, La Habana, Cuba CP 11 300
E-mail investigaciones@geocuba.co.cu

PRESIDENTE
Eloy Pérez
Cuba

VICE-PRESIDENTE
Silvia Lucero Casas
Mexico

VICE-PRESIDENTE
Myriam Ardila Torres
Colombia

VICE-PRESIDENTE
Pedro Luis García
Cuba

SECRETARIO GENERAL
María Antonia García Cisneros
Cuba

RESPONSABLE DE DIVULGACIÓN ELECTRÓNICA
Walter F. Sione
Argentina

TESORERO
Gastón Hernández
Cuba

COMITÉ DE RELACIONES INTERNACIONALES
Paulo Roberto Martini (Brasil)
Presidente
Aurelie Sand – Francia
Maurizio Fea – Italia
Alfredo Cuello – Argentina
Victor Barrena - Perú
Ramiro Salcedo – Venezuela
Myriam Ardila Torres / Colombia
María Elena Pezoa - Chile
Olga Piedad Rudas - Colombia
Anyul del Pilar Mora - Colombia
Luis Geraldo Ferreira - Brasil
Pedro Martínez Fernández - Cuba

COMITÉ EDITORIAL
María Cristina Serafini (Argentina)
Presidente
Miriam Esther Antes – Argentina
Leila María Fonseca – Brasil
Francisca Celia González – Argentina
Fabián Lozano – México
Jorge Luis Martin – Cuba
Freddy Flores. – Venezuela

COMITÉ DE EDUCACIÓN
Tania María Sausen (Brasil)
Presidente
Joao Avila - Brasil
Maria Antonia García Cisnero - Cuba
Andres Cárdenas - Colombia
Ethel Rubín de Celís Llanos - Perú

CAPÍTULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA
Francisca Celia González
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291 - 459 5127
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

BOLIVIA
Rodolfo Ayala
Carrera de Topografía y Geodesia
Facultad Técnica
Universidad Mayor de San Andrés
Av. Arce 2299 1º Piso
La Paz, Bolivia
Tel.: 591-2-2441401

BRASIL
Leila María García Fonseca
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos Campos
San Pablo, Brasil
Tel: 55 - 12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

CHILE
Gina Ghio
AYS Ltda
Calle Teatinos 258 of 811
Santiago, Chile.
Tel: 562 - 6903768
Fax: 562 - 6903790
E-mail: jnovikov@codelco.cl

COLOMBIA
Myriam Ardila
PROSIS S.A.
Calle 94 A n° 11 A-70
Santa Fe de Bogota, Colombia
Tel: 57-1-6357272
Fax: 57-1-6357190
E-mail: mardila@prosis.com

CUBA
Eloy Pérez García
UCT GEOCUBA IC
Calle 4 No. 304, e/ 3ra y 3ra A
Miramar, Playa, La Habana, Cuba CP 11 300
investigaciones@geocuba.co.cu

ECUADOR
José R. Aguiar V.
CLIRSEN
Edif. Instituto Geográfico Militar, Piso 4
Seniergues s/n y Paz y Miño
Apartado Postal 17-08-8216
Quito, Ecuador
Tel.: 593- 2- 254-3193
Fax: 593- 2- 255-5454
E-mail: clirsen@clirsen.com

GUATEMALA
Carlos Alberto Duarte
Ingeniería Virtual
Ruta 4, 6-49 Zona 4, Oficina 14
Ciudad de Guatemala (01004), Guatemala
Tel: 502 - 334-1039/4038
Fax: 502 - 331-9390
E-mail: chduarte@hotmail.com

GUYANA FRANCESA
Laurent Polidoril
Directeur de Recherche IRD / US ESPACE 140
Institut de Recherche pour le Développement
(ex-ORSTOM)
Route de Montabo - BP 165 - 97323 Cayenne
cedex
Tel. (+594) 594 29 92 81
Fax (+594) 594 31 98 55
E-mail:polidori@cayenne.ird.fr

MÉXICO
Silvia Lucero Casas
UAM Agronomía y Ciencias
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Centro Universitario Victoria
Cd. Victoria Tamaulipas, México
E-mail: scasas@uat.edu.mx

URUGUAY
Antonio Alarcón
Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales
Fuerza Aérea Uruguaya
Ruta 101 s/n Km. 19500
Carrasco, Canelones, Uruguay
Tel.: 598 -2 601 4083
Fax: 598 -2 601 4090
E-mail: director@ssra.gub.uy

VENEZUELA
Ramiro Salcedo
Centro de Procesamiento Digital del Instituto de
Ingenieria en Caracas
Apdo. Postal 40200 / Caracas, Venezuela
Tel/fax: 58 - 212 - 903 -4682
E-mail: ramiros@fii.org

PERÚ
Victor Barrena Arroyo
Universidad Nacional Agraria La Molina
Av. La Universidad s/n
La Molina, Lima, Perú
Tel / Fax: 51-1-349-5647 anexo 232/349-2041
E-mail: vbarrena@lamolina.edu.pe

CAPÍTULOS EN FORMACIÓN

PARAGUAY
Sergio M. Burgos Sosa
IPPA
Dr. César Sánchez 431
San Lorenzo, Paraguay
Tel/Fax: 595- 21- 574909
Email: smburgos@highway.com.py

CAPÍTULOS ESPECIALES

ALEMANIA
Klaus Reiniger
DLR
D-8031 Oberpfaffenohfen
Alemania
Tel: 49- 8153- 281.189
Fax: 49- 8153- 281.443

CANADÁ
Fritz P. Dubois
25 Nidland
Crs Nepean Ontario Kh2-8n2
Ontario, Canadá
Tel: 613- 596-4164
Fax: 613- 723-9626

ESPAÑA
José L. Labrandero
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Pinar 25- Madrid 28006, España
Tel: 34- 411.10.98
Fax: 34- 562.55.67

FRANCIA
Aurelie Sand
CNES
31401- Toulouse Cedex 9
France
Tel: 33-1- 447.67500
Fax: 33-1-447.67849
E-mail: aurelie.sand@cnes.fr

HOLANDA
Carlos Valenzuela
ITC
350 Boulevard 1945, P.O.X. 6. 7500 AA
Enschede, Holanda
Tel.: 31 53 874-444
Fax: 31 53 874-400

ITALIA
Maurizio Fea
ESA/ESRIN
Via Galileo Galilei, 00044
Frascati, Italia
Casilla Postal 64
Tel: 39 - 694180940
Fax: 39 - 694180942
E-mail: Maurizio.Fea@esa.int

USA
Patricia M. Ravelo
SPOT
Estados Unidos
Tel: 1-800-ask-spot ext. 137
Fax: 703-648.1813
E-mail: ravelo@spot.com

COMITÉ EDITORIAL

María Cristina Serafini (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.ar

Miriam Esther Antes (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.arx

Leila María Fonseca (Brasil)
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos Campos, Sao Paulo, Brasil
Tel: 55 - 12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

Fabián Lozano (Mexico)
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Av. Euganio Garza Sada # 2501 sur, Col. Tecnológico, Monterrey, Nuevo León, México
Tel: 52 - 81 - 8358 - 1400 ext 5275
Fax: 52 - 81 - 8358 - 6280
E-mail: dflozano@itesm.mx

JJorge Martín Chiroles (Cuba)
E-mail: ciencia@geocuba.com.cu

Jorge Luis Martín (Cuba)
E-mail: ciencia@geocuba.com.cu

Francisca Celia González (Argentina)
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291 - 459 5127
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

Freddy Flores (Venezuela)
Fundación Instituto de Ingeniería
Carretera Vieja de Baruta, Sector Sartenejas, Urb. Monte Elena II
Caracas, Venezuela
Tel: 58 2-903 4661-4610
Fax: 58 2- 903 4780
E-mail: freddyf@fii.org

COMITÉ DE EVALUADORES

Francisco Redondo
(UNLu - Argentina)
Graciela Marín
SEGEMAR - Argentina)
Mirta Aída Raed
(CSR, UNLu - Argentina)
Alfredo Cuello
(UNLu - Argentina)

ÍNDICE TEMÁTICO

- **ESTIMACIÓN INDIRECTA DE EMISIONES DE CO2 A PARTIR DE INFORMACIÓN SATELITAL EN ÁREAS QUEMADAS DE AMBIENTES INSULARES DEL DELTA DEL RÍO PARANÁ (ARGENTINA)**
  Walter Sione
  Pablo Aceñolaza
  Lizandra Pamela Zamboni
  María Cristina Serafini
  Hector del Valle
  Juan Gallardo Lancho.....5

- **APLICAÇAO DE MORFOLOGIA MATEMÁTICA E TÉCNICAS DE PDI NA EXTRAÇAO DE IMAGENS DIGITAIS COM INTERESSES EM CÁLCULOS DE RESERVATÓRIO E ÁREA INUNDADA POR HIDRELÉTRICAS**
  Erivaldo Antônio da Silva
  Fabricio Leonardi
  Raquel Grando Stroppa..... 22

- **EFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE LAS LAGUNAS DE LA MESA CENTRAL POTOSINA, MÉXICO.**
  Cristina Noyola-Medrano
  Marco Antonio Rojas-Beltran 31

- **UTILIZAÇAO DE IMAGENS MSS/LANDSAT PARA O MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL DA PLANÍCIE DO LAGO GRANDE DE CURUAI, PA.**
  V.F. Renó
  E.M.L.M.Novo..... 39

Editado por: SELPER Internacional
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y ex 7, (6700) Luján - Bs. As. - ARGENTINA

EJEMPLAR DE DISTRIBUCIÓN GRATUITA PROHIBIDA SU VENTA

PLAN EDITORIAL SELPER 2008 - 2010

PLAN EDITORIAL SELPER

A partir de las decisiones adoptadas en el marco del XIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, llevado a cabo en La Habana, Cuba, en setiembre de 2008, la edición de la Revista SELPER está disponible en la página de nuestra Sociedad: http://www.selper.org.

En esta oportunidad hacemos llegar la publicación del volumen 29 Número 2, donde se incluyen trabajos que han sido enviados por especialistas en el área de Teledetección y SIG que desarrollan sus actividades en diferentes instituciones de América Latina y nos brindan la oportunidad de conocer los alcances de estas herramientas aplicadas al estudio del espacio geográfico y los recursos naturales.

Estos trabajos han sido remitidos a expertos evaluadores para su revisión y aprobación. En este sentido es necesario destacar el invalorable apoyo brindado por el grupo de evaluadores, a quienes agradecemos muy especialmente por su labor.

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos recibidos serán enviados a tres (3) expertos en la temática para su revisión. Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las contribuciones.

Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués e Inglés.

Los trabajos deberán estructurarse contemplando las siguientes secciones:

a) Título del trabajo. Nombre de los autores y direcciones completas

b) Resumen (no más de 150 palabras) indicando al final las palabras claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés

c) Introducción

d) Objetivos

e) Metodología empleada y materiales

f) Resultados obtenidos

g) Conclusiones

h) Bibliografía: sólo se incluirá la citada en el texto. Se indicarán los autores, por orden alfabético, año, título, revista o medio donde fue publicado, incluyendo volumen y páginas, cuando corresponda.

Los títulos y subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaño de letras). Las tablas, fotos y figuras deberán ser suficientemente nítidas, llevar un título y estar numeradas en forma consecutiva.

Se deberá enviar una copia del trabajo en formato Word y una copia papel. La extensión total del trabajo no deberá superar las 12 páginas, (DIN-A4).

Los trabajos se enviarán a: editorial@selper.org

Estimación indirecta de emisiones de CO2 a partir de información satelital en áreas quemadas de ambientes insulares del delta del río Paraná (Argentina)

Sione, W.[1,2], P. Aceñolaza[1,3] , L. P. Zamboni[1], C. Serafini[2], H.F. del Valle[4] y J. F. Gallardo Lancho[5].

1 CEREGEO-UADER, Urquiza 980 (3100) Paraná, Entre Ríos Argentina. 2 PRODITEL-UNLU, Ruta 5 y 7 (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina. 3 CICyTTP-CONICET y FCA-UNER, Materi y España (3105) Diamante, Entre Ríos, Argentina. 4 CENPAT-CONICET. (U9120ACF) Puerto Madryn (Chubut), Argentina. 5 IRNASA-CSIC. C/Cordel de Merinas, 40-52. Salamanca. E-37008 España. sione@ceregeo.org.ar , acenolaza@gmail.com , pamelazamboni@gmail.com , proditel@mail.unlu.edu.ar, juanf.gallardo@irnasa.csic.es

RESUMEN

Los incendios en ambientes insulares del Delta del Río Paraná (R. Argentina) presentan recurrencia, controlada por factores antropogénicos, climáticos y topográficos. Como consecuencia, se producen variaciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, añadido a consecuencias de escala local (degradación de la vegetación, erosión del suelo, impactos en la salud humana) o global (contaminación atmosférica, clima). El Delta del Río Paraná cubre una superficie aproximada de 17.500 km2, conformando una planicie inundable caracterizada por pulsos de inundación y sequías, asociados a sistemas fluviales y mareales. Esta situación produce una estructuración ambiental compleja; dominan formaciones boscosas en la parte Norte y de herbáceas en las áreas internas del Complejo y en la zona deltaica distal. En toda el área el fuego se utiliza, recurrentemente, como parte de la práctica de manejo ganadero, sin considerar en la mayoría de los casos las interacciones de otras variables ambientales (v. g.: clima). Durante el período marzo/junio de 2008 se produjeron una serie de incendios que afectaron principalmente pastizales y juncales del Delta. El objetivo de este trabajo fue estimar las emisiones de CO2 que se produjeron durante el período de quema de las comunidades herbáceas del Complejo Deltaico del río Paraná. Para ello, se caracterizaron las unidades de vegetación a partir de una clasificación no supervisada del índice EVI (Enhanced Vegetation Index), producto MOD13Q1, en una serie anual de compuestos de 16 días de imágenes MODIS (año base: 2007). Se determinaron 10 unidades de cobertura, de las cuales 4 correspondieron a vegetación herbácea. El área quemada se determinó mediante la aplicación del índice BAI (Burnt Area Index) a partir de las bandas del infrarrojo cercano (2) e infrarrojo medio (7) del mismo compuesto. Las estimaciones de las emisiones de CO2 se realizaron sobre la base de datos de biomasa herbácea propios, de datos de campo y bibliográficos, utilizando un modelo paramétrico que incluye como variables la proporción de biomasa quemada (0,6), la relación de C total (Ct) fijado en biomasa (0,46) y la relación Ct/CO2 (3,67). Los incendios del Complejo Deltaico del Río Paraná produjeron emisiones de CO2 cercanos a los 20 Mg C ha-1 para las praderas de juncales y pajonales, mientras que para las áreas del pre - Delta se calcularon emisiones entre 18 y 34 Mg C ha-1 para canutillares y cortaderales. Las emisiones estimadas para el período evaluado, y considerando la extensión de las unidades de vegetación quemadas, son superiores a 7,7 Tg C-CO2. Estos niveles de emisión de CO2 son comparables a lo anualmente producido por una ciudad argentina de unos 2.000.000 de habitantes.

Palabras clave: Emisiones de carbono, área quemada, humedales, indice de área quemada, teledetección, MODIS

ABSTRACT

Fires in island environments in Delta del río Paraná (Argentina) have recurrence controlled by anthropogenic, climax and topographic factors. As a result, variations in the emissions of greenhouse gases are produced, added to local consequences (vegetable degradation, soil erosion, impacts on human health) or global consequences (air pollution, climate).

Delta del río Paraná covers an area of approximately 17.500 km2, conforming a food plain characterized by pulses of flooding and droughts, associated to tidal and fluvial systems. This situation leads to a complex environmental structuring; dominate forest formations in the northern part and herbaceous in the distal portion in the Delta. In this last area, fire is applied recurrently as part of practice of handling livestock, without considering in most cases the interactions of other environmental variables (climate). During the period March/June 2008 there were a series of fires which affected mainly grassland and rushes in the Delta. The aim of this study was to estimate indirectly CO2 emissions that occurred during the period of burning of herbaceous plant communities in Delta del río Paraná. To do so, vegetations units were characterized from an unsupervised classification of the EVI index (Enhanced Vegetation Index), product

MOD 13 Q1, in an annual series of compounds of 16 days of MODIS images (base year: 2007). Ten pieces of coverage were identified; four of them corresponded to herbaceous vegetation. The burnt area was determined by applying the index BAI (Burnt Area Index) from bands from near infrared (2) and middle infrared (7) of the same compound. Estimates of CO2 emissions were made based on data from own herbaceous biomass, bibliographic and field data, using a parametric model that includes as variables of proportion of burnt biomass (0,6), the relation of C (Ct), total set in biomass (0,46) and the relation Ct/CO2 (3,67). Fires in Delta del Paraná produced CO2 emissions close to 20 Mg C ha-1 for grasses and rushes prairies, while for the pre-Delta areas the emissions were estimate between 18 and 34 Mg C ha-1 for canutillares and cortaderales. Estimated emissions for the evaluated period are higher than 7,7 Tg C -CO2. These levels of CO2 emissions are comparable to the annually produced by an Argentinean city with 2.000.000 inhabitants.
Keywords: carbon emission, burned area, wetland, remote sensing, burn area index, MODIS

INTRODUCCIÓN

El C del planeta se almacena en cinco grandes compartimentos; las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal. Los sistemas terrestres acumulan muy diferente cantidad de C orgánico edáfico (COS), dependiendo fundamentalmente de las diferentes condiciones climáticas (que, a su vez, afectan a la actividad de los microorganismos del suelo responsables de la descomposición de los restos vegetales y de la materia orgánica del suelo (MOS)), independientemente de la cantidad de biomasa vegetal (García Oliva et al., 2006).
En el C total del suelo (CTS) se puede considerar tanto el COS como el C inorgánico (CIS; presente en los sistemas semiáridos y áridos; Gallardo y Merino, 2007). Dentro del suelo se pueden contemplar diferentes subcompartimentos de COS, delimitando los horizontes húmicos (Ah) y minerales (B, C). A los anteriores hay que añadir otro compartimento diferente que es el C orgánico del mantillo forestal (o necromasa; se le suele denominar horizonte L u O) (Bravo et al ., 2007).
Entre los agentes de cambios ambientales el fuego es uno de los principales, que impactan tanto localmente, como regionalmente en el uso del suelo, productividad, capacidad de traslado, y biodiversidad. Globalmente impacta sobre los procesos hidrológicos, bioquímicos y atmosféricos (Csiszar et al., 2004; Roy et al., 2005). Desde la década del 80, los incendios han sido reconocidos como una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (Seiler y Crutzen, 1980; Andreae et al., 1998; Crutzen y Andreae, 1990).
La concentración atmosférica del gas de efecto invernadero más importante, el dióxido de carbono (CO2) pasó de 280 partes por millón en volumen (p.m.m.v., antes de la revolución industrial) hasta 379 p.p.m.v. en el año 2005, superando las cifras más elevadas de los últimos 650 mil años (IPCC, 2007). En algunos trabajos se indica que la principal causa de este aumento ha sido el uso de combustibles fósiles y, en menor medida, el cambio de uso de la tierra (fundamentalmente la transformación de los bosques en terrenos agrícolas). Autores como Liusse et al., en 2004 menciona que gran parte de las emisiones ocurren en los trópicos, donde confluyen presión humana, nivel de desarrollo, clima y disponibilidad de combustible y en esta región los aportes de gases efectos invernadero debido a la quema de biomasa es mayor que la contribución que realizan los combustibles fósiles.
El efecto inmediato de la quema es la producción y liberación a la atmósfera de gases y partículas resultantes de la combustión de biomasa. Los productos de la combustión instantánea de la vegetación quemada incluyen dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrocarburos distintos a metano, óxido nítrico, cloruro de metilo y varias partículas. En consecuencia, las quemas tienen impactos a corto y a largo plazo sobre el presupuesto global del dióxido de carbono.
La teledetección constituye una herramienta que puede proporcionar un inventario rápido y preciso de las superficies incendiadas, así como su posterior dinámica. La estabilidad orbital de los satélites de observación de la tierra permite el seguimiento exhaustivo de las características de la vegetación (composición, estado), previo y posterior al incendio. La información que aportan estos sensores sobre regiones no visibles del espectro (infrarrojo cercano, medio, térmico y microondas), resulta de gran valor para una evaluación precisa del área quemada así como del proceso de recuperación de la misma tras el fuego, comparando las situaciones previas y posteriores al suceso. (Martín et al., 1998 ; Martín et al . 2005; Pereira 1999; Zamboni y Aceñolaza, 2005).
La cartografía de áreas quemadas a partir de la teledetección se ha desarrollado notablemente en los últimos años, gracias al creciente interés por obtener una evaluación global de las áreas afectadas por incendios (Ahern et al., 2001; Chuvieco et al., 2004). Con este enfoque global, el sensor más utilizado ha sido el NOAA-AVHRR, gracias a su resolución espectral, bandas seleccionadas y frecuencia temporal. En los últimos años se han introducido nuevos sensores, como el ATSR, que ha sido la base del atlas mundial de incendios elaborado por Piccolini et al. (2000), y más recientemente han sido incorporados estudios realizados con observaciones del MODIS. (http://modis-fire.gsfc.nasa.gov/).
Estudios recientes sugieren mejores resultados en la determinación del área quemada con compuestos de imágenes MODIS en comparación a resultados obtenidos con imágenes NOAA-AVHRR, debido a la mejora comparativa de la resolución espectral, radiométrica y espacial del primer sensor respecto del segundo y a que las bandas del MODIS están mejor adaptadas a las características radiométricas de las

áreas recientemente quemadas. (Chuvieco et al., 2002 y 2006; Sione, 2006; Opazo et al., 2007)

En la provincia de Entre Ríos, con el avance de la frontera agrícola por sobre áreas históricamente ganaderas de la región, se ha incrementado la presión ganadera sobre ambientes de islas, en la región del Complejo Deltaico del Paraná. Esto ha causado profundas transformaciones en el uso de la tierra en sistemas sensibles, convirtiéndolos en sistemas, donde los procesos naturales y sociales son alterados y degradados. En estos ambientes el fuego es utilizado como práctica de manejo ganadero, para mejorar la palatabilidad y diges-tibilidad de ciertas especies.

En este marco deben diferenciarse dos tipos de fuego: los prescriptos, considerados como una práctica de manejo bajo condiciones definidas y controladas para reducir la densidad, cobertura y biomasa de comunidades vegetales, mejorar la palatabilidad y digestibilidad de ciertas especies, entre otros aspectos y los accidentales causados por factores humanos derivados de la imprudencia .

Debemos remarcar que desde el punto de vista ecológico, el fuego puede ser considerado como un disturbio que no es ni positivo ni negativo (Grime, 1977 ; White y Pickett 1985; Barbour et al., 1999). Si bien con su acción se destruye biomasa vegetal, al mismo tiempo se crean espacios abiertos donde pueden establecerse nuevos individuos que darán paso a las diversas etapas sucesionales de las comunidades vegetales y animales (Defossé et al., 2004 a y b).

A nivel regional y particularmente en estos ambientes de islas es deficiente aún el conocimiento sobre el régimen histórico de ocurrencia de incendios, y de cómo esto se ha modificado actualmente debido al incremento de la presión ganadera y de la construcción, en un sector del área de estudio, del puente Rosario -Victoria. La determinación de área quemada, distribución temporal de los incendios, del tipo de coberturas presentes y de las mas afectadas por efecto del fuego en la región de islas del bajo Paraná es un aspecto que no ha sido suficientemente estudiado y que constituye un aporte de importancia en línea a determinar las implicancias de este suceso en las emisiones de gases de efecto invernadero y realizar una correcta valoración regional y global del impacto ambiental que este fenómeno tiene.

Durante el período Marzo /Junio de 2008 se produjeron una serie de incendios que afectaron principalmente pastizales y juncales del Complejo Deltaico. El objetivo de este trabajo fue estimar indirectamente las emisiones de CO2 que se produjeron durante el período de quema de las comunidades herbáceas a partir de información satelital y de terreno.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de trabajo abarca unos 17.500 km 2 de la llanura de inundación del Río Paraná ubicada entre los 32º 00' y los 34º 28' de Latitud Sur y los 60º 55' y los 58º 20' de Longitud Oeste. (Figura 1) El Complejo Deltaico corresponde al tramo final del río Paraná, hasta su desembocadura, donde se conjugan estructuras fluviales con geoformas sedimentadas durante los últimos ingresos y egresos del mar durante el Holoceno. La llanura fluvial propiamente dicha, es la que está vinculada al efecto directo de la dinámica fluvial, y está constituida por un sector de islas que presentan una morfología propia, con los bordes externos (albardones marginales) más elevados y bajos inundables en su zona interna, con zonas intermedias de transición (media loma). Asociados a cauces que disectan internamente estas islas se encuentran los albardones internos. Estos gradientes topográficos se corresponden con gradientes texturales en el sustrato, encontrándose las granulometrías más arenosas asociadas a las zonas más bajas, muy influenciadas por los impulsos y cambios de niveles del río (Aceñolaza et al., 2005).

En el tramo superior y medio del Complejo Deltaico, los albardones marginales encontramos los bosques simples de Tessaria integrifolia Ruiz y Pav. (aliso de río) y Salix humboldtiana Willd. (sauce criollo). Los bosques de albardones internos están dominados por Albizia inundata (Mart.) Barneby & J.W. Grimes (timbó blanco), Inga verna Willd. subsp. affinis (DC.) T.D. Penn. (Ingá) y/o Nectandra angustifolia (Schrad.) Nees & Mart. Ex Nees (laurel del río) constituyendo, en algunos casos, bosques mixtos, que presentan mayor riqueza específica. La densidad de arbolado es muy variable en estos bosques según la etapa sucesional considerada y la posición topográfica en la planicie de inundación (Casco, 2004), encontrando, para etapas maduras, unos 800 individuos ha-1 en los alisales/sauzales y los 1000 individuos ha-1 en los timbozales (Aceñolaza et al., 2005). Etapas juveniles pueden superar ampliamente estos valores de densidad. La porción inferior del Complejo, los albardones se encontraban originalmente cubiertos por los llamados "monte Blanco" (Burkart, 1957) y que fueron reemplazados prácticamente en su totalidad por plantaciones de Salicáceas (Kalesnik, 2001; Kalesnik et al . 2007.).

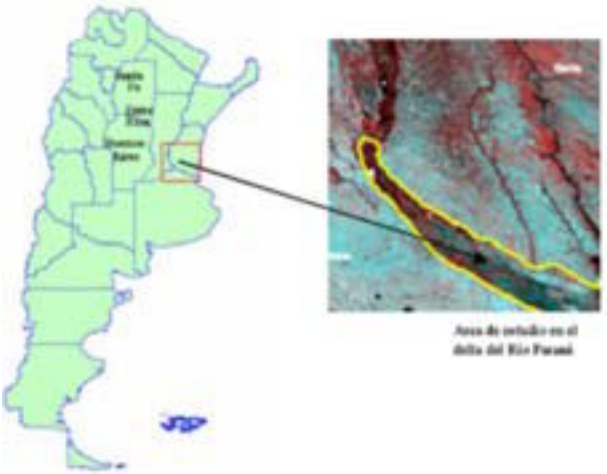


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

El régimen hidrológico del sistema del Paraná presenta , en su pocrión con influencia fluvial, un pulso anual de inundación (unimodal), generalmente en los meses de otoño (Abril a Junio, esto es, cuando comienza la época seca) seguido de un período de estiaje en verano (Neiff, 1996; Zamboni y Aceñolaza, 2004). A medida que nos acercamos al delta propiamente dicho, la dinámica adquiere mayor influencia mareal con flujo bidireccional (Malvárez, 1997).
La mayor parte de las especies que conforman a la vegetación fluvial se distribuye en un amplio rango de condiciones de hábitat. Las fisonomías herbáceas presentan una tendencia de distribución de mayor frecuencia en posiciones topográficas más baja. La vegetación leñosa se distribuye más frecuentemente en zonas más elevadas, asimismo, cada especie puede tener curvas de distribución diferentes en tanto el sitio tenga suelos formados por sedimentos pelíticos o arenosos (Casco, 2004).
Las comunidades con fisonomía boscosa, se distribuyen casi con exclusividad en las áreas altas de albardones, mientras que en las medias loma y bajos, la fisonomía dominante es la herbácea (Aceñolaza et al, 2004).
En las medias lomas se encuentran pajonales de Panicum prionitis Nees, arbustales de chilca (Baccharis spp.), de Mimosa pigra L. o de Sesbania virgata (Cav.) Pers.. Los pajonales se constituyen como una comunidad herbácea de alta riqueza específica con amplia cobertura del suelo.
Hacia el centro de la isla se encuentran zonas más bajas (bajos) con vegetación lacunar donde se observan una serie de comunidades vegetales herbáceas en mayor medida asociadas a ambientes acuáticos, como los canutillares-verdolagales dominados por Panicum elephantipes Nees ex Trin. y Ludwigia peploides (Kunth) P.H. Raven subsp. peploides (Aceñolaza et al ., 2005). El régimen hidrológico del sistema del Paraná presenta un pulso anual de inundación (unimodal), generalmente en los meses de otoño (Abril a Junio, esto es, cuando comienza la época seca) seguido de un período de estiaje en verano (Neiff, 1996; Zamboni y Aceñolaza, 2004). Los juncales (Schoenoplectus californicus y Cyperus giganteus) adquieren mayor importancia en las pociones distales del Complejo.
El clima es templado / cálido y húmedo, la temperatura media anual ronda los 19ºC. El régimen hidrológico presenta anualmente un pulso de inundación (unimodal) generalmente en los meses de otoño, seguido de un período de bajante que alcanza los meses de verano. Las precipitaciones se registran en los meses de verano, aunque en los últimos años se ha registrado mayor frecuencia en otoño (Rojas y Saluso, 1987; APN, 2003).

METODOLOGÍA

A. Adquisición de imágenes y pre-tratamiento

En este trabajo se utilizaron datos del sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), instrumento a bordo de los satélites Terra y Aqua que adquieren datos cada 1-2 días en 36 bandas del espectro ubicadas entre los 0.4 µm y los 14.4 µm, y con diferentes resoluciones espaciales: 250m, 500m y 1000m.
Para la clasificación de cobertura de suelo y la estimación de área quemada se utilizaron productos de 16 días (MOD13Q1) y 250 m de resolución nominal, generados a partir de compuestos estándar de reflectividad, (MOD09Q1) (MODIS -TERRA), que fueron provistos por EOS Data Gateway (EOS, 2004) (Tabla 1) . Estos compuestos incluyen píxeles que tengan las mejores condiciones de observación en cuanto a ausencia de nubes y sombras, aerosol, un bajo ángulo de visión y una amplia cobertura. Los datos se ofrecen escalados en tantos por 10.000 (esto es, la reflectividad se ha multiplicado por 10000) y tienen una proyección Sinusoidal.

Tabla 1: bandas incluidas en los compuestos MOD13Q1

Banda	Resolución (mts)	SET DE DATOS (HDF Layers) (12)	UNIDADES
1	250	16 días NDVI	NDVI
2	250	16 días EVI	EVI
3	250	16 días VI Quality detailed QA	Bits
4	250	16 días	Reflectancia (Banda del Rojo (Banda 1 de MODIS - 620-670 nm))
5	250	16 días	Reflectancia (Banda del Infrarrojo Cercano (Banda 2 de MODIS – 841-876 nm))
6	250	16 días	Reflectancia (Banda del Azul (Banda 3 de MODIS - 459-479 nm))
7	250	16 días	Reflectancia (Banda del Infrarrojo medio (Banda 7 de MODIS - 2105-2155 nm))
8	250	16 días	Grados (ángulo de visión zenital)
9	250	16 días	Grados (ángulo solar zenital)
10	250	16 días	Grados (ángulo azimutal relativo)
11	250	16 días	Días Julianos del año
12	250	16 días	Ranking de calidad

Para la clasificación de cobertura de suelo en ambientes de islas se utilizó una composición multitemporal de bandas del EVI correspondientes al año 2007, (Tabla 2).

Tabla 2: Compuestos de imágenes MODIS utilizados para la clasificación de cobertura de suelo

Día Juliano	Fechas
1	01/01/07 – 16/01/07
17	17/01/07 – 01/02/07
33	02/02/07 – 17/02/07
49	18/02/07 – 05/03/07
65	06/03/07 – 21/03/07
81	22/03/07 – 06/04/07
97	07/04/07 – 22/04/07
113	23/04/07 – 08/05/07
129	09/05/07 – 24/05/07
145	25/05/07 – 09/06/07
161	10/06/07 – 25/06/07
177	26/06/07 – 11/07/07
193	12/07/07 – 27/07/07
209	28/07/07 – 12/08/07
225	13/08/07 – 28/08/07
241	29/08/07 – 13/09/07
257	14/09/07 – 29/09/07
273	30/09/07 – 15/10/07
289	16/10/07 – 31/10/07
305	01/11/07 – 16/11/07
321	17/11/07 – 02/12/07
337	03/12/07 – 18/12/07
353	19/12/07 – 31/12/07

El índice EVI (Enhanced Vegetation Index) fue desarrollado e incorporado dentro de los productos MODIS (Huete et al., 2002). El EVI incluye en su cálculo la banda del Infrarrojo cercano (MODIS 841-876 nm) la banda del rojo (MODIS 620-670 nm), la banda del azul (MODIS 459-479 nm), los coeficientes de corrección del suelo L=1 y para la corr ección de efectos de dispersión atmosférica C1= 6 y C2=7.5 y un factor de ganancia G=2.5, según:

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L}$$

Este índice permite registrar las variaciones estacional es del dosel vegetal incluyendo el índice de área foliar LAI (leaf area index), tipo y arquitectura del dosel y fisonomía de la planta. EVI fue desarrollado para optimizar la señal de la vegetación con sensibilidad mejorada para altas densidades de biomasa, lográndose esto al separar la señal proveniente de la vegetación y la influencia atmosférica (Huete et al., 2002).

Para la determinación de área quemada se utilizaron los compuestos correspondientes al período enero/junio de 2008 (Tabla 3).

Tabla 3: fechas de los compuestos MODIS utilizados para la determinación de área quemada

Día Juliano	Fechas
1	01/01/08 – 16/01/08
17	17/01/08 – 01/02/08
33	02/02/08 – 17/02/08
49	18/02/08 – 04/03/08
65	05/03/08 – 20/03/08
81	21/03/08 – 05/04/08
97	06/04/08 – 21/04/08
113	22/04/08 – 07/05/08
129	08/05/08 – 23/05/08
145	24/05/08 – 08/06/08
161	09/06/08 – 24/06/08

Para la validación de resultados se utilizaron imágenes CBERS 2B del año 2008 (Tabla 4).

Tabla 4: imágenes CBERS 2B utilizadas para la validación del cálculo de área quemada sobre compuestos MODIS

Orbita	Fecha
164-137	10 de junio de 2008
164-138	10 de junio de 2008
165-137	12 de mayo de 2008
165-138	12 de mayo de 2008
166-138	9 de mayo de 2008
166-137	9 de mayo de 2008

B. Estudio de cobertura de suelo

B.1- Descripción de las clases de cobertura presentes

Prácticamente la totalidad de las unidades descriptas, poseen una alta heterogeneidad, asociada a su variabilidad interna, (como ser florística, fisonómica, y de tamaño, forma de las unidades) como así también por la escala de trabajo (píxel de 250 x 250 metros). Esto, asociado a los cambios en los regímenes fluviales, trae aparejado la delimitación de clases más vinculada a una zonificación ecológica que a una respuesta exclusiva de la vegetación . Así los factores intervinientes para caracterizarlas, varían según la zona, el origen, la posición topográfica, el predominio de la actividad fluvial sobre la mareal (o viceversa), la geomorfología, el uso y por último los procesos geológicos asociados a las ingresiones marinas del Holoceno.

Se definieron 10 clases de las cuales, la mayoría se corresponde con patrones de paisajes que poseen fisonomías de vegetación que las caracterizan adaptando los criterios y trabajos previos de Burkart, 1957; Bonfils, 1962; Franceschi y Lewis 1979; Malvárez 1999; Kalesnik, 2001; Kandus et al 2002; Aceñolaza et al. 2004; Iriondo, 2004; Kalesnik y Kandel, 2004; Aceñolaza et al 2005; Kalesnik et al. 2007.

Clase 1: Esta unidad posee una distribución asociada a los cursos de agua de alta energía , y se visualiza en la clasificación en los tramos superiores y medios del Complejo Deltaico. Se corresponde a fisonomías de bosques que se intercalan con arroyos y madrejones. En esta zona se superponen patrones de zonas altas (albardones) cubiertos por bosques de sauce (Salix humboldtiana) y aliso de río (Tessaria integrifolia). Asociado en las porciones medias, se distribuyen pajonales.

Clase 2: Unidad que se distribuye en el área de influencia fluvial del Complejo Del taico, ubicada sobre las zonas medias a bajas. Areas mas o menos planas con drenaje lento que forma parte de los ambientes de avenamiento impedido. Incluye praderas graminosas altas de Panicum prionitis, y praderas de herbáceas latifoliadas como Polygonum spp, Ludwigia spp y Alternanthera philoxeroides .

Clase 3: Vinculada casi exclusivamente a cuerpos de agua abierto, con baja a nula cobertura vegetal y, dado la resolución de trabajo, corresponden a superficies de escalas medias a grandes. Por este motivo se visualizan importantes cuerpos de agua en la porción centro norte: Complejo Coronda y lagunas de áreas con avenamiento impedido. La escasa vegetación corresponde a formas de vida acuática flotante con predominio de Eichornia spp., Salvinia sp. y Azolla sp..

Clase 4: Unidad que se distribuye en una matriz de lagunas, cauces y praderas con vegetación herbácea baja, graminiforme con latifoliadas, con escaso drenaje y en parte constituyendo un paisaje de llanura de drenaje impedido. Asociada a suelos que se inundan con regimenes fluviales.

Clase 5: Asociada a respuestas de suelo desnudo o con baja cobertura vegetal. Dichos suelos por lo general presentan una pradera graminosa baja que puede estar intercalada con algunos bosquecillos de Acacia caven y la pr esencia de especies halófilas asociadas a salinidad subsuperficial.

Clase 6: Corresponde a una respuesta particular de una pequeña área a la cual se le realizaron trabajos de drenaje y canalización para su explotación.

Clase 7: Corresponde a una fisonomía herbácea que cubre una antigua llanura de mareas. Los procesos geológicos actuales han modelado el paisaje estuárico introduciendo algunos patrones fluviales con red de canales que alimentan amplias zonas semiplanas inundadas de manera semipermanete. Las áreas mas bajas están dominadas por cataizales de Polygonum y Ludwigia mientras que en las áreas más elevadas se presentan pajonales de Cyperus giganteus y Panicum prionitis.

Clase 8: Esta clase posee una distribución en geoformas similares a la de la Clase 7, pero con un régimen hidrológico de contacto entre el fluvial y el mareal. Esto, sumado a las amplias extensiones de bañados, producen una cobertura con importancia de juncos (Schenoplectus californicus) y Cyperus giganteus.

Clase 9 y 10: Pastizales y bosques del Delta. Estas dos unidades, se distribuyen sobre las islas del Delta del Río Paraná cuyo patrón morfológico es similar al de las islas del cauce descriptas anteriormente (Clase 1); este patrón también asocia unidades de bosque ligadas a los albardones (Clase 10) y porciones bajas praderas herbáceas (Clase 9). La característica sobresaliente de esta unidad es que la misma está sometida a la acción mareal del Río de la Plata, y la presenta de un régimen hidrológico de flujo bidireccional . Esto es una de las principales diferencias con las islas de la porción norte del Complejo Deltaico. Sus suelos están permanentemente húmedos. La clase 9 está ligada a las porciones mas internas de las islas, con suelos permanentemente húmedos y cubiertos por paraderas de Schenoplectus californicus y Cyuperus giganteus. La Clase 10 corresponde principalmente a

las áreas de albardones que inicialmente se encontraban cubiertas por Monte Blanco y que fueron casi totalmente reemplazadas por plantaciones de Populus y Salix. Dentro de esta clasificación quedaron comprendidas, por fuera del área de Delta, una serie de praderas y sabana con bosquecillos de Acacia caven y Prosopis formando isleta en la zona de una antigua laguna litoral entre las localidades de Medanos y Ceibas. Lo mismo ocurre con las praderas vinculadas a la localidad de Ibicuy.

B.2- Clasificación de compuestos multitemporales de EVI

A partir de los productos MODIS de 16 días se generó composición de imágenes EVI para el período 1 de enero al 31 de diciembre de 2007. En la composición se incluyeron los 23 índices EVI correspondiendo cada banda a un período de 16 días. A partir de esta composición multitemporal se evaluó la variación estacional del EVI para cada píxel y se procedió a identificar cober turas de suelo.

Se realizó una clasificación no supervisada (ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) del compuesto de 23 bandas del EVI. Se definieron 60 clases. Luego de la clasificación se procedió a la asignación de estas clases a ti pos de cobertura de suelo, en base a información de terreno disponible, datos del Google Earth, imágenes CBERS y Landsat TM disponibles (Figura 2).

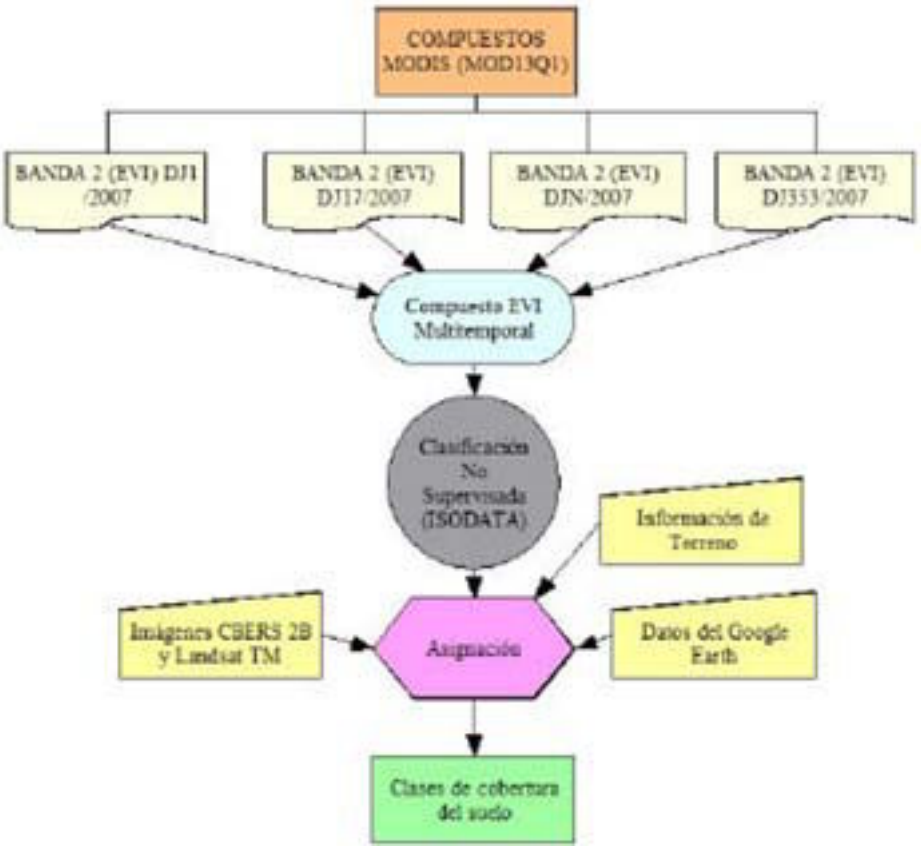


Figura 2: modelo cartográfico empleado para la determinación de cobertura de suelo

C. Índice de área quemada BAI (Burn Area Index) para determinación de área quemada

Para la determinación de área quemada se utilizó el índice de área quemada BAI (Burnt area index), definido específicamente para imágenes AVHRR (Martín et al., 1998) a partir de las bandas infrarrojo cercano y rojo. Para imágenes MODIS, se propuso una variante del BAI que tenía en cuenta las bandas del NIR y el SWIR (Martín et al., 2005)

$$BAI = \frac{1}{(Pc_{SWIR} - \rho_{SWIR})^2 + (Pc_{NIR} - \rho_{NIR})^2}$$

Donde:

ρ_{NIR} = Banda 2, compuesto MODIS

ρ_{SWIR} = Banda 7, compuesto MODIS

pc_{NIR} = Límite de convergencia para la señal del carbón en la banda del Infrarrojo Cercano (0,08)

pc_{SWIR} = Límite de convergencia para la señal del carbón en la banda del Infrarrojo Medio (0,2)

En la figura 3 se incluye el modelo utilizado para el cálculo.

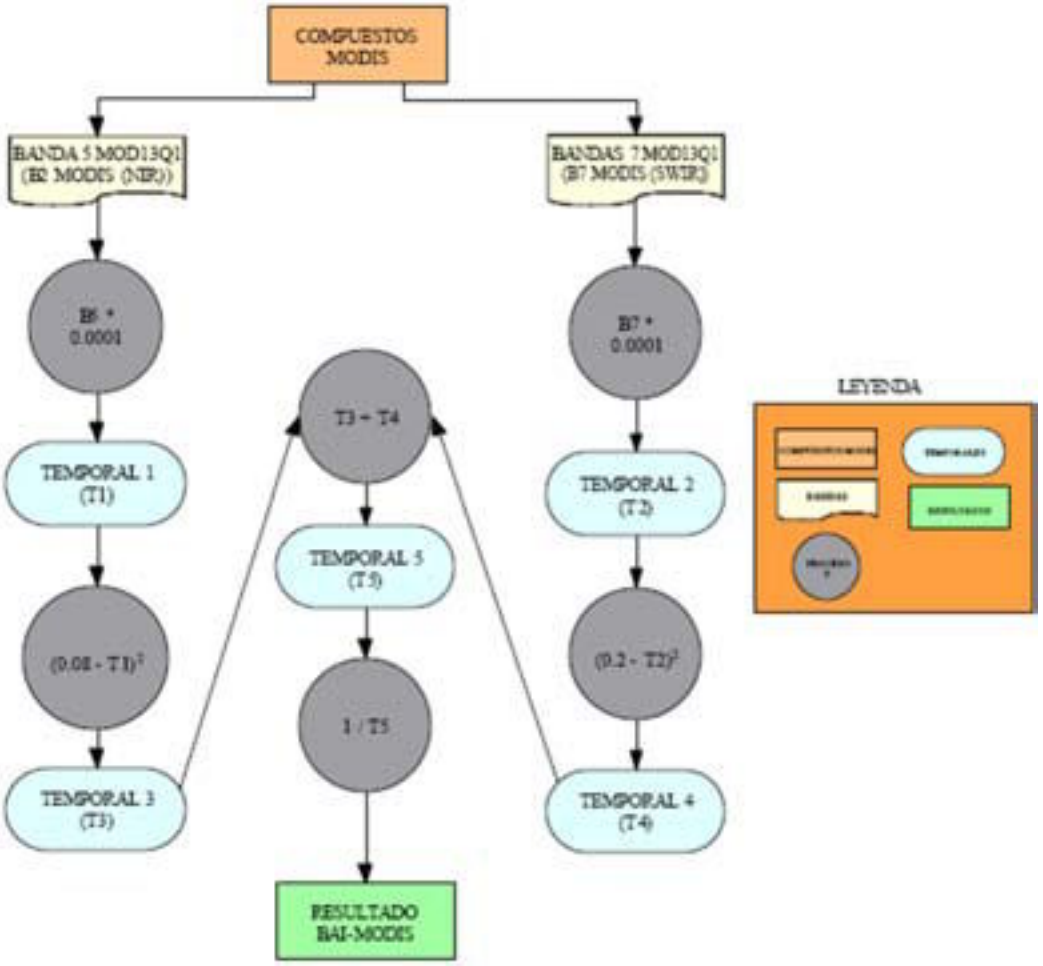


Figura 3: modelo del algoritmo aplicado para el cálculo del BAI

Para la identificación de las áreas quemadas se procedió al cálculo de un umbral para el índice BAI. Se utilizaron para ello imágenes CBERS 2b órbita 165/137 del 12 de mayo de 2008 sobre las que se procedió a realizar interpretación visual y digitalización de polígonos de área quemada. Esos polígonos se utilizaron como máscara para analizar los valores de BAI calculado a partir de los compuestos MODIS (Figura 4). Cabe destacar que para este análisis se procedió a recortar los límites del área de estudio, por lo que estos umbrales son aplicables sólo para el tipo de ambiente y área bajo análisis.

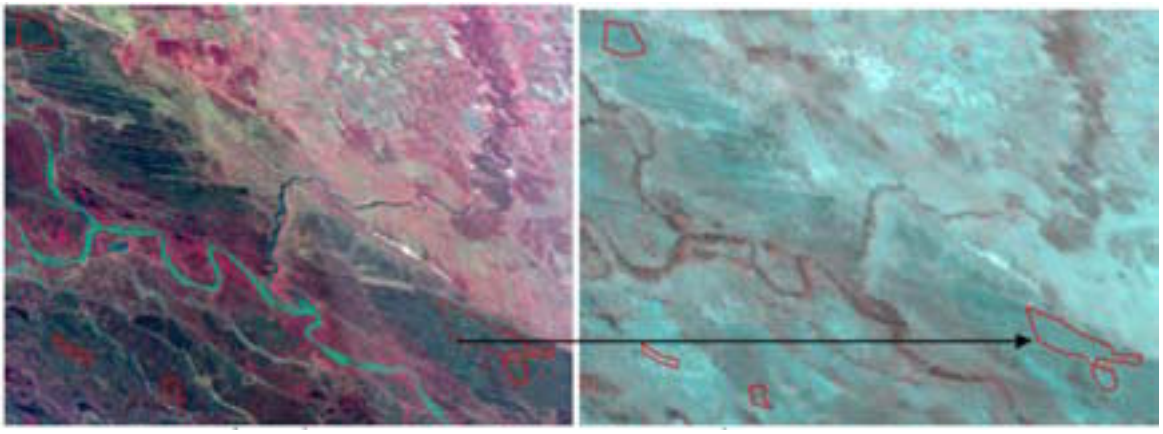


Figura 4: Izquierda: Selección de píxeles quemados sobre imagen CBERS 2b, órbita 165/137 del 12 de mayo de 2008 – Derecha: compuesto MODIS, correspondiente al período 24/05/08 – 08/06/08.

Sobre una muestra de valores de BAI para áreas quemadas en ambientes de islas, de 981 píxeles se procedió al cálculo del percentil del 5 % que sería utilizado como umbral de corte para la determinación de área quemada. (Figura 5). El criterio aplicado fue:

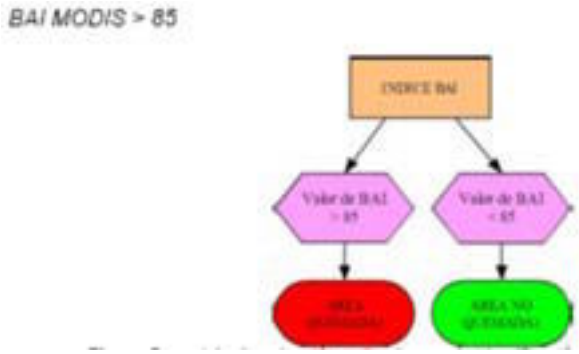


Figura 5: modelo de selección aplicado para la identificación de áreas quemadas, con valores de umbrales utilizados

D. Estimación de emisiones

Una vez identificadas y cuantificadas las unidades de vegetación, fue posible integrar información correspondiente al contenido de carbono, a fin de estimar las emisiones de CO2 producidas por la quema en cada unidad. La metodología de obtención de los datos ha sido utilizada en trabajos previos (Aceñolaza et al., 2006; Zamboni y Aceñolaza, 2004; 2005b; Bravo et al .; 2007B). En el presente trabajo se presentan datos propios y obtenidos por otros autores (Vicari et al., 2006).

En una primera instancia se obtuvieron valores de materia orgánica seca (MS) para cada tipo de ambiente a partir de valores de biomasa, expresados en Mg MS ha-1. Se han incorporado, datos correspondientes a valores anuales de recolección de mantillo, expresados en Mg MS ha -1 (Zamboni y Aceñolaza, 2005 a, b), correspondientes al horizonte 0. Los datos de C orgánico del suelo (COS) para estas mismas unidades, no han sido incorporados en la presente contribución debido a que se asume que dadas las características de los incendios ocurridos, el contenido de C del suelo así como la biomasa de raíces, no se ven alterados, por lo tanto la estimación

de la emisión de CO2 no requiere de estos datos.
La metodología utilizada para la obtención de valores de C (Mg C ha-1) a partir de datos de MS, consiste en aplicar un factor de transformación igual a 1,84 (a los valores de MS) bajo el supuesto de que el contenido de C es de aproximadamente el 46 % de la MS (Bravo et al.; 2007). A partir de los valores de C (Mg C ha-1), se obtuvieron los valores en CO2, se multiplicando el valor de C por 44/12 (3,67) (Bravo et al., 2007 A.).
La proporción de biomasa quemada durante el incendio se asumió como el 60% del total de la biomasa en cada unidad de vegetación. Otros autores indican que cerca del 20% del carbono que forma parte de la biomasa aérea se libera durante el incendio (emisión inmediata) esencialmente en forma de CO2 (Seiler y Crutzen, 1980), mientras que para la biomasa de residuos , se estima el porcentaje de esta emisión en un 60 por ciento (CORINE-AIRE, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de cobertura de suelo

El compuesto de imágenes EVI para el año 2007 permitió discriminar 10 clases de coberturas de suelo en ambientes de islas en base al comportamiento de este índice en el período. (Figura 6)

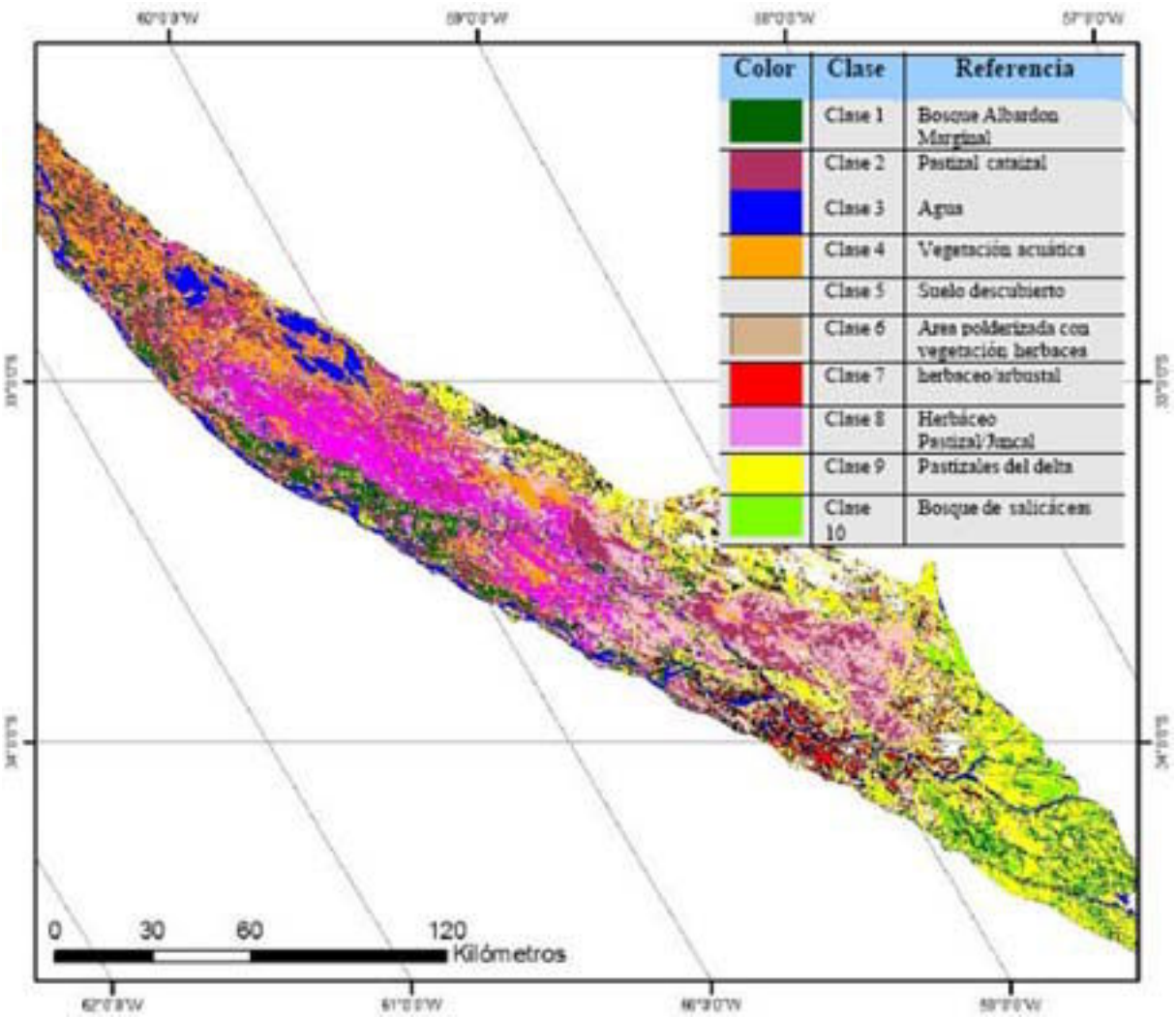


Figura 6: Coberturas de suelo

Del total del área bajo análisis se determinó que el 12,9 % corresponde a vegetación de tipo arbóreo, el 2,1 % corresponde a estrato arbustivo y el 69,4 % a estrato herbáceo, según el detalle presentado en la tabla 5.

Tabla 5: Coberturas de suelo en el área de estudio

Referencia	%
Bosque Albardón Marginal	10,3
Pastizal cataizal	25,9
Agua	7,6
Vegetación acuática	11,8
Suelo descubierto	6,0
Area polderizada con vegetación herbácea	0,6
Herbáceo/arbustal	2,1
Herbáceo Pastizal/Juncal	13,3
pastizales del delta	16,0
Bosque de salicáceas	2,6

Evaluación de exactitud de la clasificación:
Para el análisis de exactitud de la clasificación se utlizaron imágenes de mayor resolución (Landsat TM y CBERS de fechas coicindentes con el período analizado), otras clasificaciones disponibles para el área (Salvia et al., 2007), imágenes de Google Earth y datos de terreno. Las clases de cobertura se agruparon en estrato herbáceo/arbustivo (Clases 2, 6, 7, 8 y 9), Arbóreo (Clases 1 y 10) y otras clases de cobertura que no presentan incendios (Clases 3, 4 y 5). Se procedió al sorteo de 50 puntos y se evaluó la exactitud de la clasificación a nivel de estratos para lo cual se obtuvo un resultado superior al 60 % Determinación de área quemada Se determinó que el área afectada por incendios desde inicios de enero hasta el 9 de junio de 2008 fue de 4879 Km2. En el gráfico 1 se presentan las estimaciones de área quemada por tipo de cobertura. En el gráfico 2 se presenta la superficie quemada por período.

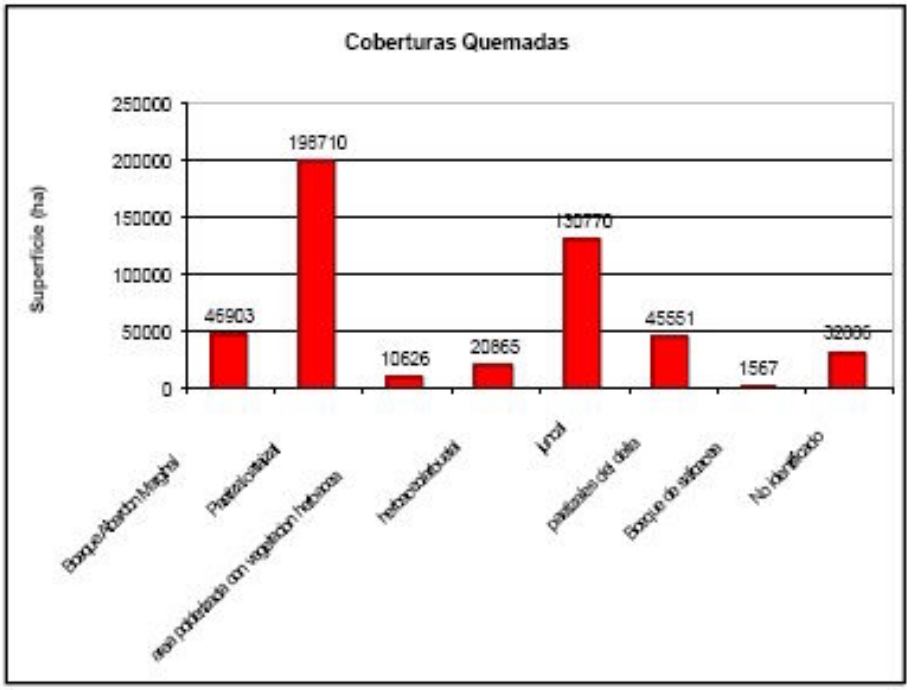


Gráfico 1: Detalle y proporción de coberturas quemadas en el período Enero -Junio de 2008

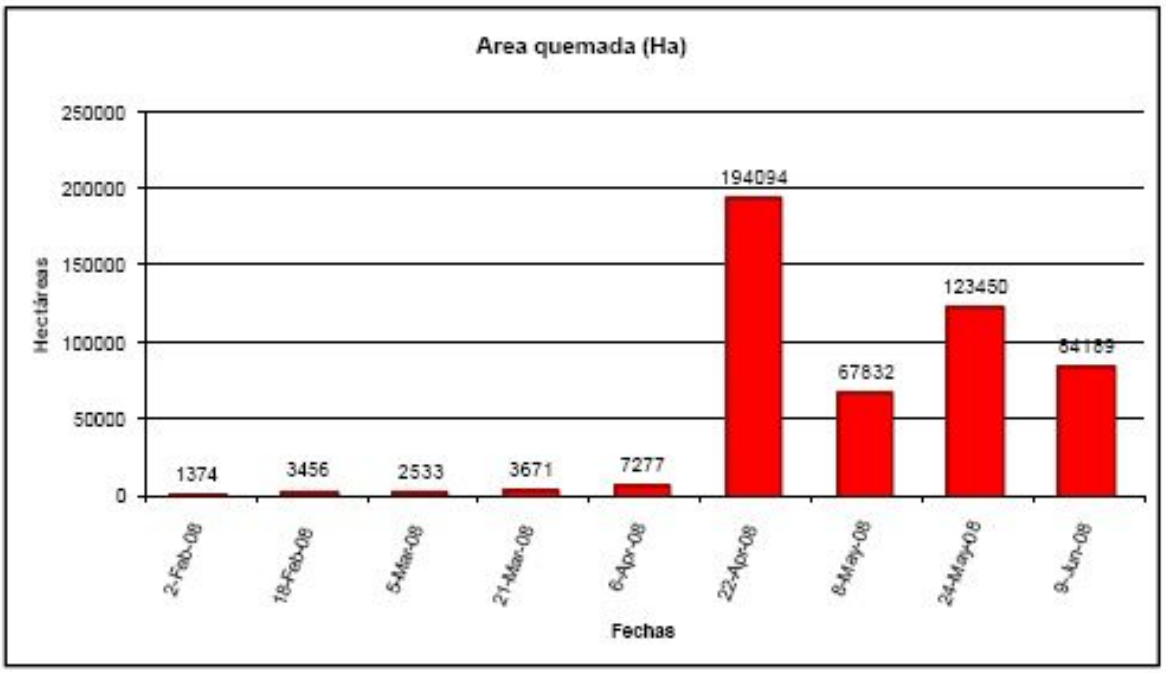


Gráfico 2: Superficie quemada por período

Evaluación de exactitud del cálculo de área quemada

Teniendo en cuenta la dificultad de acceder a la información de campo sobre áreas quemadas en un territorio tan extenso, se decidió utilizar como base para la validación la interpretación visual de imágenes del sensor CBERS 2B. (Figura 7).

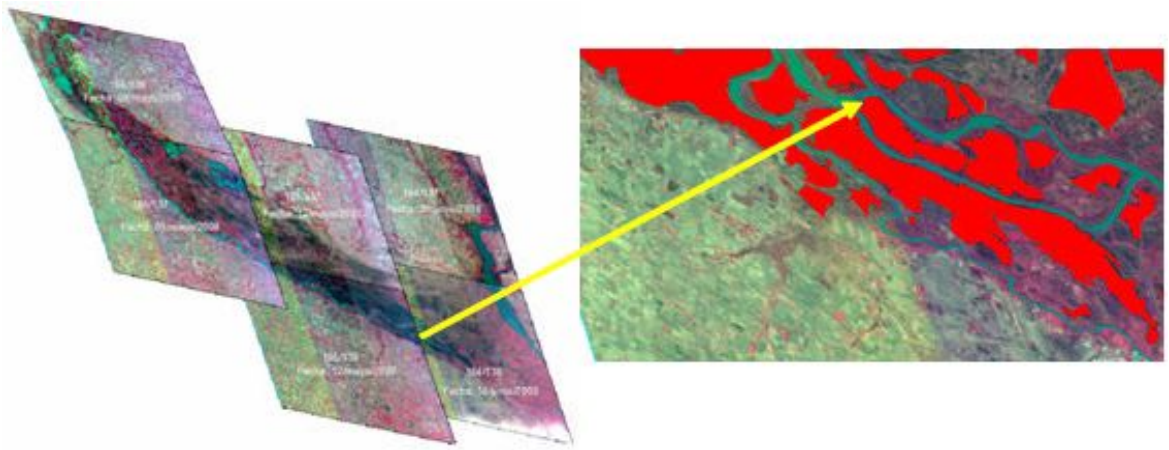


Figura 7: Izquierda: Mosaico de imágenes CBERS 2B. Derecha: polígonos de área quemada sobre imágenes CBERS 2B

El criterio de interpretación visual ha sido utilizado por diversos autores para validar productos de área quemada a escala regional y global (Roy et al. 2005), ya que la señal quemada es bastante evidente visualmente (color, textura, emplazamiento), sobre todo cuando se dispone de una imagen previa al incendio.

Se realizó un sorteo de 100 puntos de verificación para la cuál se evaluó la presencia/ausencia de área quemada en las imágenes CBERS 2B y el producto de área quemada calculado a partir del compuesto MODIS. (Figura 8)

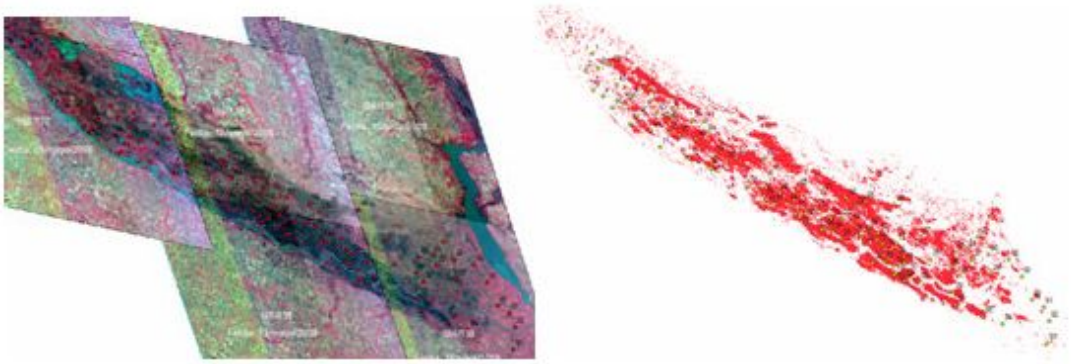


Figura 8: Izquierda: puntos de verificación sobre Mosaico de imágenes CBERS 2B. Dere cha: área quemada total para el período, detectada sobre el compuesto MODIS.

A partir del análisis de las áreas quemadas para los compuestos MODIS y CBERS 2B se calcularon los errores de omisión y comisión obteniéndose una exactitud del 82 % . (Tabla 6)

Tabla 6: reporte de errores en la estimación de área quemada

CBERS 2b / BA/MOD13	Puntos que presentaban incendios según Imágenes CBERS 2b	Puntos que NO presentaban incendios según Imágenes CBERS 2b	Total de Puntos	% Error de omisión	% Exactitud del productor
Puntos que presentaban incendios según índice sobre comp. Modis	44	8	52	15,4	84,6
Puntos que NO presentaban incendios según índice sobre comp. Modis	10	38	48	20,8	79,2
Total de puntos	54	46	100		
% Error de comisión	18,5	17,4			
% Exactitud del usuario	81,5	82,6			

Estimación de emisiones

En la tabla 7 se presentan las estimaciones de emisión por tipo de cobertura.

Tabla 7: estimaciones de emisiones totales de CO 2/Ha -1

Referencia	Área representada por la unidad (%)	Has quemadas por unidad	% Has Quemadas por unidad	unidades muestreadas	Biomasa Mg Ms Ha-1	Biomasa quemada Mg Ms Ha-1	C Mg C Ha-1	CO_2 Mg CO_2 Ha-1	Emisiones Totales CO2 Mg CO2 Ha-1	Fuentes
Bosque Albardón Marginal	10.3	46003	10.3	Bosque Albardón Marginal Salicho-imbolitiana	226	135	67.5	248	11619661	datos propios
Pastizal cebadal	25.9	198710	43.7	cebadal	12	9.6	4.8	18	3560475	
Área poblenzada con vegetación herbácea	9.6	10626	2.3	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
herbacea/arbustal	2.1	20865	4.6		sd	sd	sd	sd	sd	
Juncal	13.3	130770	28.7	SG Scirpus californicus	16	10.8	5.4	20	2660785	(Kandus et al. 2006)
			0.0	SC Solanopsis californicus	59	31.4	6.3	21		
Bosque de salicáceas	2.6	1567	0.3	Plantación de sauce	115	59	34.5	127	199205	
pastizales del delta	10	46651	10.0	Pastizal	23	16.4	9.2	34	1537934	datos propios
agua	7.6	0	0.0	nc	nc	nc	nc	nc		
vegetación acuática	11.6	0	0.0	nc	nc	nc	nc	nc		
suelo descubierto	6	0	0.0	nc	nc	nc	nc	nc		
total	100	454992	91.5							

sd sin datos
nc no corresponde

Emis. Totales	19530496 Mg CO2Ha-1
Emis. c/herbacea	7719244 Mg CO2Ha-1
Emis. c/arborea	11811451 Mg CO2Ha-1

Si se tiene en cuenta la proporción de área representada por cada unidad (tabla 5) y la cantidad de Has quemadas (grafico 1) se puede expresar que las unidades mas afectadas son las herbáceas, el pastizal representa el 26% del área estudio, y un 44 % del área quemada; los juncales representan el 13 % y un 29% del área quemada; mientras que las áreas polderizadas con vegetación herbácea y las de vegetación herbácea /arbustal representan en conjunto menos del 3 % del área estudiada y conforman menos del 7 % del área total quemada.
Por otro lado las fisonomías boscosas (albardones marginales y bosques de salicáceas (plantaciones)) representan en conjunto menos del 15%, y una superficie quemada de 10%.
Lo anterior indica que las características del paisaje, interpretado en términos de las unidades de vegetación identificadas en el presente trabajo, tienen efectos diversos, en cuanto a la respuesta a eventos como los incendios, posiblemente asociado a la alta heterogeneidad y variabilidad característica de regiones deltaicas.
Los incendios del Delta del Río Paraná produjeron emisiones de CO2 cercanos a los 20 Mg C ha- 1 para las praderas de pastizales/juncales y pajonales, mientras que para las áreas del pre-Delta se calcularon emisiones entre 18 y 34 Mg C ha-1 para canutillares y cortaderales. Las emisiones estimadas para el período evaluado, y considerando la extensión de las unidades de vegetación quemadas, son superiores a 7,6 Tg C-CO2, para la vegetación de tipo herbáceo. Si en los cálculos incluimos también las emisiones correspondientes a la quema de la cobertura arbórea, tenemos más de 19,5 Tg C-CO2.
De acuerdo a datos publicados por Naciones Unidas 2007, en el sitio Millennium Development Goals Indicators, las emisiones de CO2 para Argentina hasta el año 2004 eran de aproximadamente 3,7 Toneladas métricas per cápita.
Sólo la emisión de CO2 producida durante la quema de la cobertura herbácea en el período analizado es comparable a lo anualmente producido por una ciudad argentina de unos 2 Millones de habitantes . Si se incluyen también en el cálculo las emisiones totales (con coberturas arbóreas quemadas), tenemos emisiones estimadas, superiores a las de una ciudad de 5 Millones de habitantes en un año.

CONCLUSIONES

La utilización de compuestos generados a partir del índice EVI para la clasificación de cobertura de suelo a escala regional, permite generar una cartografía fiable para este tipo de ambientes. Estos índices son una variable derivada que permite cuantificar la variación estacional de las diferentes coberturas de suelo y en base a ello discriminarlas. Para el área de estudio, es de especial interés continuar con evaluaciones para períodos mas extensos a los efectos de lograr caracterizar de manera precisa los ciclos de crecimiento y en base a ello plantear estrategias de aprovechamiento sostenible de estos ambientes que permitan conservar el recurso.
El producto MOD13Q1 resultó apropiado para la determinación de área quemada a escala regional. El umbral sobre el BAI, estimado para este ambiente, permitió discriminar de manera confiable el área quemada y su evolución para cada período. Resulta de interés explorar nuevos umbrales de corte sobre el índice BAI, para diferentes ambientes.
Las técnicas de teledetección empleadas permitieron estimar el CO2 emitido por cada una de las unidades de vegetación identificadas en la región, posibilitando la integración de datos de campo con datos espaciales. Estas herramientas son imprescindibles para la implementación de estrategias de planificación y gestión territorial, ya que brindan información confiable sobre las características y magnitudes de los eventos que tienen lugar en estos sistemas, sobre todo si se tiene en cuenta el carácter heterogéneo de la región del Delta del Paraná.
Las emisiones de CO2 de las unidades de vegetación identificadas son indicadores de las consecuencias de eventos como los incendios en paisajes como el del delta del río Paraná.

AGRADECIMIENTOS

Los datos MODIS utilizados en este trabajo fueron descargados desde el Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), del U.S. Geological Survey (USGS) Center for Earth Resources Observation and Science (EROS).
Los datos CBERS 2B han sido descargados desde el centro de distribución de datos del INPE.
Este trabajo se realizó en el marco del proyecto “Caracterización del régimen de fuegos en ambientes de islas del bajo Paraná, mediante información satelital y de terreno (IBP-Fuego)” de la Universidad Nacional de Luján

REFERENCIAS

- Aceñolaza P., W. Sione, F. Kalesnik y M. C. Serafini. 2005. Determinación de unidades homogéneas de vegetación en el Parque
Nacional Pre -Delta (Argentina). Serie Misc. INSUGEO-CONICET 14: 81-90.

- Aceñolaza, P. G.; H. E. Povedano; A. S. Manzano; J de D. Muñoz; J. I. Areta y A. L. Ronchi Virgolini. 2004. Biodiversidad del
Parque Nacional Pre-Delta. Serie Miscelánea. INSUGEO -CONICET, Tucumán, Argentina 12:169-184.

- Aceñolaza, P., L.P. Zamboni y J. F. Gallardo. 2006. Ciclos biogeoquímicos de bosques de la llanura de Inundación del río Paraná (Argentina): Aporte de hojarasca. En: J. F. Gallardo Lancho (Ed.). Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del SXXI. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Badajoz. Vol. 2:
529-536.

- Ahern, F.J., J.G. Goldammer y C.O. Justice (Eds.). 2001. "Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a coordinated international effort". The Haghe. The Netherlands. SPB Academic Publishing.

- Andreae M.O., T.W. Andreae, H. Annegarn, J. Beer, H. Cachier, P. le Canut, W. Elbert, W. Maenhaut, I. Salma, F.G. Wienhold and T. Zenker. 1998. Airborne studies of aerosol emissions from savanna fires in southern Africa : 2. Aerosol chemical composition, J. Geophys. Res., 103, 32119-32128.

- Administración de Parques Nacionales (APN). 2003. Plan de uso público, Parque Nacional Pre Delta. 28 pp. Bs.As. (Informe inédito).

- Barbour, M., J. Buró, W. Pitts, F. Gillia, y M. Schawartz. 1999. Terrestrial plant ecology (Third edition). Benjamín/Cummings, Menlo Park, 649 pp. California. EEUU.

- Bonfils, C. 1962. Los suelos del Delta del Río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. Revista Investigación Agrícola. INTA 16(3), 257-270. Buenos Aires, Argentina.

- Bravo, F., M. J. Fernandez Nieto, S. Bogino, M. Segur, A., Bravo-Oviedo, R. y C., Ordóñez. 2007 A. Bosques y Gestión forestal, una solución al cambio climático?. En: Bravo, F. (Coord.) El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación gas natural, Barcelona, 65-112 pp.

- Bravo, F., J. A., Delgado, J. F., Gallardo, A., Bravo-Oviedo, R. Ruiz-Peinado, A., Merino, G., Montero, A., Cámara; R., Navarro, C., Ordóñez y E., Canga. 2007 B. Métodos para cuantificar la fijación de CO2 en los sistemas forestales. En: Bravo, F. (Coord.) El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación gas natural, Barcelona, 65-112 pp.

- Burkart, A. 1957. Ojeada sinóptica sobre la vegetación del Delta del Río Paraná. Darwiniana, 11: 457-561.

- Casco, S. L. 2004. Distribución de la vegetación fluvial y su relación con el régimen de pulsos en el bajo Paraná. Serie Miscelánea. INSUGEO-CONICET, Tucumán, Argentina 12: 125-130.

- Chuvieco, E., D. Cocero, D. Riaño, P. Martin, J. Martínez-Vega, J. de la Riva y F. Pérez. 2004. "Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating". Remote Sensing of Environment 92 (2004) 322–331

- Chuvieco, E., M.P. Martín y Ventura, G., 2002. Evaluación de imágenes NOAA-AVHRR y Terra-MODIS para cartografía regional de áreas quemadas. X Simposio Internacional SELPER. Cochabamba, Bolivia.

- Chuvieco, E., O. Sergio, H. del Valle, W. Sione, et al. 2006. "Cartografía global de áreas quemadas en América Latina: experiencias del proyecto AQL2004". XII Simposio SELPER. Cartagena. Colombia.

- CORINE -AIRE. 2.000. Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera CORINEAIRE 1994,1995,1996 e Inventarios Complementarios. Vol 2: Análisis por Actividades Emisoras del Grupo 11 "Naturaleza" de la Nomenclatura SNAP-97.

- Crutzen, P.J. and M.O. Andreae. 1990. Biomass burning in the Tropics : impact on atmospheric chemical and biogeochemical cycles, Science, 250, 1669-1678.
- Csiszar, I., C.O. Justice, A.D. Mcguire, M.A. Cochrane, D.P. Roy, F. Brown, et al. 2004. Land use and fires. In Gutman A., et al., (Eds.), Land change science: Observing, monitoring.

- Defossé, G., y M.F. Urretavizcaya. 2004. a. Introducción a la Ecología del Fuego. En: Kunst C.; Bravo S. y Panigatti J. (Eds.) Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA. Santiago del Estero, pp 17-26.

- Defossé, G., C. Rostagno, H. Del Valle y M. Dentoni. 2004. b. El fuego en la porción austral de la región Monte. En: Kunst C.; Bravo S. y Panigatti J. (Eds.) Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA. Santiago del Estero, pp 167-179.

- EOS. 2004. NASA Earth Observing System data

gateway Available at: http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/.

- Franceschi. E. A. y J. J. Lewis. 1979. Notas sobre la vegetación del valle Santafesino del Río Paraná (República Argentina). Ecosur 6: 55-82

- García Oliva, F, G. Hernández y J. F. Gallado Lancho. 2006. Comparison of Ecosystem C pools in three forest in Spain and Latin America. Ann. For. Sci., 63: 519-523.

- Grime, J. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. American Naturalist. Vol. 11, p. 1169-1194

- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao X., and L.G. Ferrira. 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices.. Remote Sens. Environ., 83(195-213).

- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on climate change. The physical sciences basis (Summary for policymakers). www.ipcc.ch. Consulta junio 2007.

- Iriondo, M. 2004. The Littoral complex at the Paraná mouth. Quaternary International. 114. 143-154.

- Kalesnik, F. 2001. Relación entre las comunidades vegetales de los neoecosistemas de albardón y la heterogeneidad ambiental del bajo delta del Río Paraná. Tendencias sucesionales y proyección sobre la composición futura. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

- Kalesnik, F.; P. Aceñolaza; Hurtado, M. y J. Martínez. 2007. Relación entre la vegetación de los neoecosistemas de albardón y la heterogeneidad ambiental en el Bajo Delta del Río Paraná, Argentina. River Research and Aplications. En prensa. ISSN: 1535-1459.

- Kalesnik, F y Kandel C. 2004. “Reserva de Biosfera Delta del Paraná. Formación en educación para el ambiente y el desarrollo”. Editado por UNESCO y Municipalidad de San Fernando. 255 pp. UNESCO, Francia.

- Kandus, P., F. Kalesnik, L. Borgo y A. Malvárez. 2002. La Reserva Natural “Isla Botija” en el Delta del Río Paraná: Análisis de las comunidades de plantas y condiciones ambientales.

- Liousse, C., M.O. Andreae, P. Artaxo, P. Barbosa, H. Cachier, J.M. Grégoire, P. Hobbs, D. Lavoué, F. Mouillot, J. Penner, M. Scholes, and M.G. Schultz, 2004. Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions, In "Emissions of Atmospheric Trace Compounds", eds. C. Granier, P. Artaxo and C. Reeves, pp. 77-120, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

- Malvárez, A. I. 1999. El delta del Río Paraná como mosaico de humedales. En: A .I. Malvárez y P. Kandus (Eds.), Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos. ORCYT-MAB (UNESCO) Montevideo, Uruguay. 35-53 pp.

- Martín Isabel, M.P., y E. Chuvieco. 1998. “Cartografía de grandes incendios forestales en la península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. Serie Geográfica. Vol 7: 109-128. ISSN: 1136-5277.

- Martín, M. P., I. Gómez y E. Chuvieco. 2005. “Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data”. Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment. (J. Riva, Pérez-Cabello, F. y Chuvieco, E., Eds.). Paris, Universidad de Zaragoza, GOFC-GOLD, EARSeL: 193-198.

- Naciones Unidas 2007. Millennium Development Goals Indicators. Carbon dioxide emissions (CO2), metric tons of CO2 per capita (CDIAC). http://mdgs.un.org/unsd/mdg/SeriesDetail.aspx?srid=751&crid=

- Neiff, J. 1996. Large rivers of South America: toward the new approach. Verh. Internat. Verein. Limnol. 26: 167-180.

- Opazo Saldivia, S., y E. Chuvieco. 2007. Utilización de productos MODIS para la cartografía de áreas quemadas. Revista de Teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección. ISSN 1133-0953, Nº. 27, 2007 , pags. 27-43

- Pereira, J. M. C. 1999. “A Comparative Evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for Burned Surface Detection and Mapping”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 37 (1): 217-226.

- Piccolini, I. y O. Arino. 2000. Towards a Global Burned Surface World Atlas. Earth Observation Quartely, 65: 14-18.

- Rojas, A. y J. H. Saluso. 1987. Informe Climático de la Provincia de Entre Ríos. INTA EEA Paraná, Publicación Técnica Nº 14. Entre Ríos, Argentina.

- Roy D.P., Y. Jin, P.E. Lewis y C.O. Justice. 2005. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. Remote Sensing of Environment 97:137 – 162

- Salvia, M., Karszenbaum, H., Grings, F., y P. Kandus. 2007. Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal.

XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Septiembre de 2007.

- Seiler, W. and P.J. Crutzen. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning, Climatic Change, 2, 207-247, 1980.

- Sione, W. 2006. La Teleobservación como herramienta para la generación de mapas de riesgo de incendio y monitoreo de zonas incendiadas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires. Argentina.

- Vicari R., P. Kandus, P. Pratolongo y M. Burghi. 2006. Alteración en el almacenaje de Carbono por la intervención humana de los sistemas naturales en el Bajo delta del Río Paraná. Su importancia en el balance Emisión-sumidero de CO2 atmosférico. En: Brown et al. (eds) La situación ambiental de la Argentina Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. 161 -163.

- White, P. y S. Pickett. 1985. Vegetation of the Herat and ecological systems of the geo-biosphere. Third edition. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo.

- Zamboni P. y P. Aceñolaza. 2004. Aporte al conocimiento de ciclos de materia orgánica en formaciones boscosas de la llanura de inundación del río Paraná. Serie Miscelánea. INSUGEO-CONICET, Tucumán, Argentina 12: 5-12.

- Zamboni, L. P y P. G. Aceñolaza. 2005 a. Efectos del fuego sobre la biomasa vegetal en un área del Predelta del río Paraná. (Entre Ríos, Argentina). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 40: 141.

- Zamboni P. y P. Aceñolaza 2005 b. Aporte al conocimiento de la dinámica de materia orgánica en bosques de la porción baja de la Cuenca del Plata. Cappato y Petean (eds.) Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un Manejo Sustentable. PROTEGER 535-541 pp.

Aplicação de Morfologia Matemática e técnicas de PDI na extração de imagens digitais com interesses em cálculos de reservatório e área inundada por hidrelétricas

Erivaldo Antônio da Silva[1] Fabricio Leonardi[2] Raquel Grando Stroppa[3]

Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP – Depto de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305 – Campus Universitário - 19060-900 – Presidente Prudente – SP
silva.erivaldo@gmail.com[1], leonardibr@gmail.com[2], rgstroppa@gmail.com

RESUMO

Devido à representação do ambiente, o mapa deve acompanhar as mudanças que acontecem no mundo real. Para detectar estas mudanças, é necessário manter os produtos cartográficos atualizados. Muitas são as técnicas disponíveis para esta tarefa. Neste trabalho foram utilizados o Sensoriamento Remoto aliado ao Processamento Digital de Imagens (DPI). No Brasil, ainda existem algumas regiões com cobertura cartográfica deficiente, especialmente aquelas que as dificuldades de acesso e as condições climáticas não são favoráveis aos procedimentos convencionais. O Brasil precisa de métodos de baixo custo e mais rápido, métodos alternativos que podem ser usados em processos de detecção de feições cartográficas, cujos resultados podem ser usados na atualização de bases cartográficas. Com esse intuito, as imagens de sensoriamento remoto tem contribuído como uma forma decisiva, assim como técnicas de Processamento Digital de Imagens (DPI). Uma dessas técnicas é a teoria de Morfologia Matemática - MM. Morfologia Matemática, inicialmente elaborada por Georges Matheron e Jean Serra, É chamada de morfologia porque visa analisar a forma dos objetos. É matemática no sentido que a análise baseia-se na teoria de conjuntos, integrais geométricas e álgebra boleana. Porém, a MM não é apenas uma teoria, mas é também uma poderosa técnica de análise de imagens, tendo como objetivo descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funcionar como uma técnica na concepção de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas como os detectores de borda e filtros morfológicos.O principal objetivo deste estudo foi desenvolver e validar uma rotina morfológica para a extração de feições cartográficas de interesse, utilizando ferramentas de morfologia matemática para atualização do mapeamento. A manipulação das imagens foi realizada na caixa de ferramentas ("Toolbox") de Morfologia Matemática (MM) desenvolvida pela SDC Information Systems, que funciona conectado ao software MATLAB. Foram escolhidas como as feições de interesse, duas imagens Landsat 5. Um delas é a imagem antes da construção do reservatório e outra após a construção da Usina Hidreletrica de Manso - MT - Brasil. O objetivo deste trabalho é calcular a área formada pelo reservatório da hidrelétrica. O estudo mostrou resultados promissores e demonstraram a viabilidade da aplicação de ferramentas morfológicas na cartografia.

Palavras chaves: Morfologia Matemática, feições cartográficas, atualização, Processamento Digital de Imagens, Sensoriamento Remoto

ABSTRACT

Due to environment representation, the map must follow the changes that happen in the real world. To detect these changes it is necessary to keep the Cartographic products updated. Many are the techniques available for this task. In this paper were used the Remote Sensing allied to Digital Image Processing (DPI). In Brazil, there are still some regions with deficient cartographic coverage, especially those which the access difficulties and the climatic conditions contrary to the conventional procedures. Brazil needs cheaper and faster alternative methods that can be used in processes of cartographic features detection, whose results can be used in the update of cartographic bases. With this intention, the images of remote sensing have contributed as a decisive form, as well as techniques of Digital Processing Images (DPI). One of these techniques is the Mathematical Morphology theory – MM. Mathematical Morphology, initially elaborated by Georges Matheron and Jean Serra, aims at the study of the geometric structure of entities present in a given image through the use of mathematical models. The targets present in an image are treated as sets in morphology and its identification depends on their shape. The main objective of this study was to develop and validate a morphological routine for the extraction of cartographic features of interest, using tools of mathematical morphology in order to update mapping. The manipulation of the images was carried

through in the box of tools ("Toolbox") of Mathematical Morphology (MM) developed by the SDC Information Systems, which works connected to software MATLAB. Were chosen as features of interest two images from Landsat 5. One is the image before the construction of the reservoir and the other after construction of the Reservoir power plant Manso – MT - Brazil. The features interest were extracted and to perform the calculation of the area of the lake formed by the reservoir. The study showed promising results and demonstrated the feasibility of using morphological tools in the field of cartography.

Keywords: Mathematical Morphology, cartographics feature, updating, Digital Image Processing, Remote Sensing

1. INTRODUÇÃO

Existem muitas áreas com recobrimento cartográfico desatualizado no Brasil. Métodos alternativos, rápidos e de baixo custo que auxiliem na atualização são extremamente importantes.
As imagens de sensoriamento remoto podem ser consideradas como uma fonte de dados para estudos em muitas áreas, tais como a cartografia, planejamento urbano, agricultura e meio ambiente. Tal uso pode ser justificado pela rapidez, eficiência, periodicidade na obtenção dos dados e pelo custo.
Sensoriamento Remoto é uma importante ferramenta nas tarefas de atualização de produtos cartográficos. Outro importante componente é a técnica de Processamento Digital de Imagens (PDI), na qual envolve o apoio de manipulação de imagens digitais pelo computador.
Neste trabalho, utilizou-se a teoria da Morfologia Matemática para extração de drenagens visando o cálculo de áreas. Os resultados obtidos foram interessantes e confirmaram o potencial de uso das ferramentas morfológicas na extração de feições que podem ser utilizadas em processos de atualização de produtos cartográficos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi detectar uma rotina morfológica mais apropriada para extrair as drenagens em imagens digitais para o cálculo de áreas inundada e reservatório.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Morfologia Matemática

A Morfologia Matemática teve origem a partir das pesquisas conjuntas de G. Matheron e J. Serra, em 1964. As primeiras noções teóricas foram estabelecidas no período de 1964 e 1968, juntamente na época em que foi criado o Centro de Morfologia Matemática na Escola de Minas de Paris localizada em Fontainebleau (França).
Segundo SOILLE (1999), a Morfologia Matemática (MM) pode ser definida como uma teoria para análise de estruturas espaciais. É chamada de morfologia porque visa analisar a forma dos objetos. É matemática no sentido que a análise baseia-se na teoria de conjuntos, integrais geométricas e álgebra boleana. Porém, a MM não é apenas uma teoria, mas também uma poderosa técnica de análise de imagens.
O método de análise de imagens por Morfologia Matemática tem como objetivo principal analisar a estrutura geométrica das imagens a partir de uma malha retangular definida e conhecida, denominada elemento estruturante.

3.2. Toolbox

A "toolbox" é um conjunto específico de arquivos que têm como plataforma o MATLAB e é composta de operadores morfológicos, desenvolvida pela SDC Information System.

3.3 Elemento Estruturante

Segundo FACON (1996), o elemento estruturante é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), o qual é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado desta transformação permite avaliar o conjunto desconhecido. Essa ferramenta também dispõe de algumas vantagens como à simplicidade de implementação. Neste trabalho foi utilizado o elemento estruturante na forma de máscara em cruz (secross), e de mascara cheia (sebox). As figuras 1 e 2 apresentam os elementos estruturantes utilizados.

0	1	0
1	1	1
0	1	0

Fig. 1: Máscara em forma de cruz

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Fig. 2: Máscara cheia

3.4 Operadores morfológicos básicos

3.4.1 Erosão

A erosão binária de um conjunto X por um elemento estruturante B é denotada por εB (X) e é definido como a posição dos pontos, x, tal que B está incluído em X quando sua origem está localizada em x (SOILLE, 1999)

$$_B(X) \quad \{x \mid B_x \quad X\} \qquad (1)$$

O elemento estruturante Bx corresponde ao elemento estruturante B centrado no pixel x. Segundo a equação (1), o elemento estruturante B desliza sobre a imagem X, comparando cada pixel com a vizinhança de x. Se o pixel de B corresponder à mesma posição na vizinhança de x preserva-se os pixels onde as vizinhanças coincidem.
Em geral, a erosão binária apresenta os seguintes efeitos em seus resultados: diminuição de partículas, eliminação dos grãos de tamanho inferior ao tamanho do elemento estruturante, aumento dos buracos e permite a separação de grãos próximos (FACON, 1996). Como exemplo na figura 2:

Fig. 3:Resultado da aplicação do operador erosão binária

3.4.2 Dilatação

A dilatação binária de um conjunto X pelo elemento estruturante B é denotada por εB (X) e é definida como a posição dos pontos x tal que B toca X quando sua origem coincide com x (SOILLE, 1999):

$$\delta_B(X) = \{x \mid B_x \cap X \neq \varnothing\}$$

Por esta definição, segundo (FACON 1996), o elemento estruturante Bx, posicionado e centrado em cada pixel x de X, verifica uma possível interseção com a vizinhança de x. Caso seja verdadeiro, o ponto central na imagem resultante será um pixel relevante (1), caso contrário será irrelevante (0).
A aplicação desse operador produz os seguintes efeitos: aumenta os objetos da imagem, preenche pequenos buracos e conecta objetos próximos (FACON, 1996). Como demonstra a figura 4

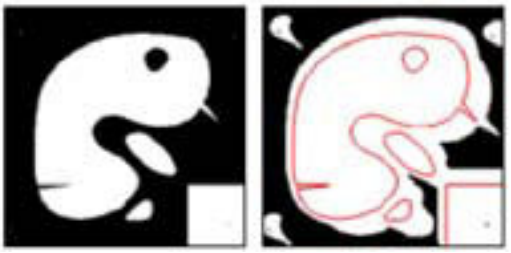


Fig. 4:Resultado da aplicação do operador dilatação binária.

A partir dos operadores básicos todos os demais operadores morfológicos podem ser construídos

4. ÁREA TESTE

Para a realização deste trabalho foram utilizadas duas sub-imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, órbita 226/070, banda 3, datadas de 26/11/1996 e 21/10/2006, respectivamente correspondendo a imagem sem o reservatório e com o reservatório da Usina Hidrelétrica de Manso, no rio Manso. A barragem está localizada entre os municípios de Nova Brasilândia e Chapada dos Guimarães. As figuras 5 e 6 ilustram as sub-imagens das áreas teste

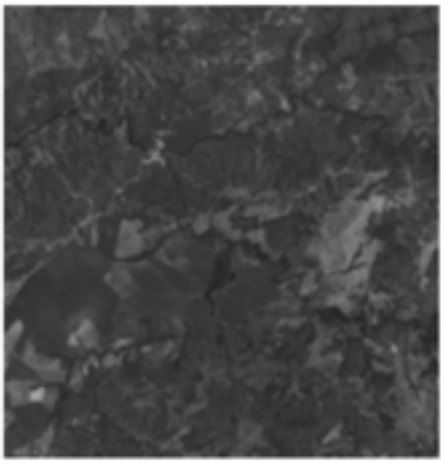


Fig. 5: Imagem original – 1996

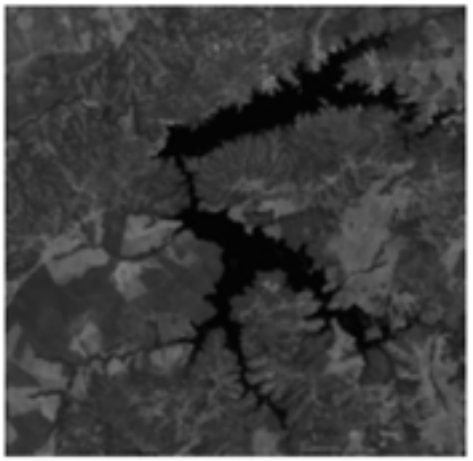


Fig. 6: Imagem original – 2006

5. MÉTODO

O presente trabalho consistiu na proposição de uma rotina morfológica para a extração de drenagem em imagens orbitais, e para calcular as áreas do reservatório e área inundada. A metodologia proposta pode também ser aplicada em processos de atualização cartográfica. Foi utilizada a "toolbox" de Morfologia Matemática acoplada ao software MATLAB 7.0 para a aplicação dos operadores utilizados.

5.1. Operadores utilizados

Os operadores utilizados neste trabalho foram:
1. mmhdome;
2. mmvbasin:
3. mmaddm:
4. mmbinary;
5. mmareaopen;
6. mmero;
7. mmsebox:
8. mmsecross;
9. mmdil e
10. mmneg

A função de cada um dos operadores utilizados é explicada no item 6. Estes operadores foram aplicados sobre as imagens com a finalidade de testar a eficiência dos mesmos na obtenção de resultados que serão utilizados posteriormente no cálculo da área inundada e no cálculo do reservatório. Para este cálculo usou-se a diferença de pixels entre as duas imagens pós processamento, visando à atualização de produtos cartográficos. Espera-se através dos resultados obtidos, que o uso dos operadores morfológicos em imagens seja encarado como um método aplicável em atividades de Cartografia de forma corrente.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Extração da Drenagem na imagem sem reservatório e com reservatório

Aplicou-se na etapa de pré-processamento morfológico sobre as imagens originais, o perador mmhdome com limiar 130 na figura 5 e mmvbasin com limiar 300 na figura 6. Estes operadores têm a função de realçar os valores de brilho e contraste, realçando as drenagens a serem detectadas. Os resultados obtidos estão ilustrados nas figuras 7 e 8:

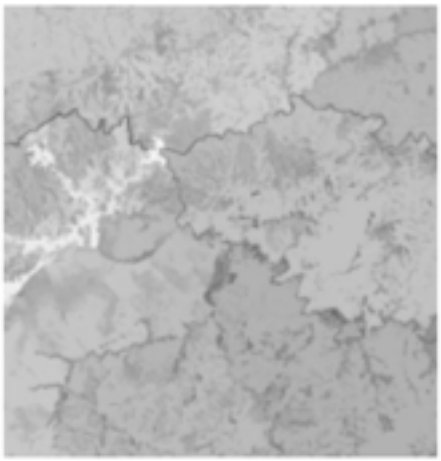


Fig. 7: mmhdome

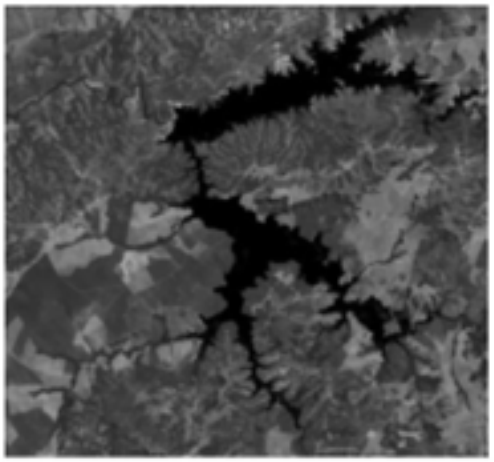


Fig. 8: mmvbasin

Para adquirir um melhor resultado, utilizou-se também o operador mmaddm, o qual tem a função de realçar as bordas através da alteração de contraste entre os níveis de cinza. Utilizaram-se limiares 100 e 150, respectivamente. Os resultados obtidos estão ilustrados nas figuras 9 e 10:

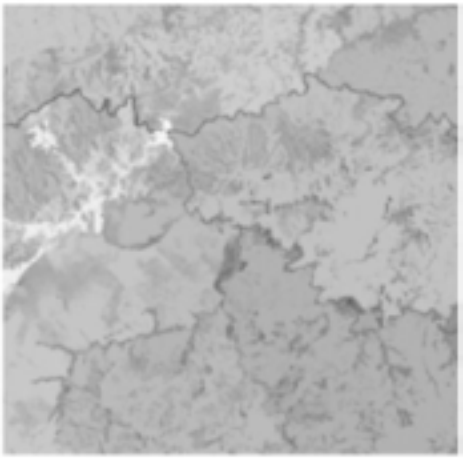


Fig. 9: mmaddm

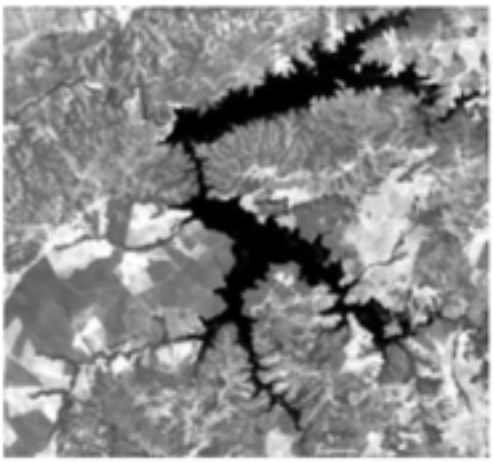


Fig. 10: mmaddm

Após a etapa de pré-processamento, as imagens foram binarizadas utilizando o operador mmbinary. Este operador converteu as imagens em tons de cinza para binárias, usando os limiares 135 e 180. Os resultados obtidos constam das figuras 11 e 12:

Fig. 11: mmbinary

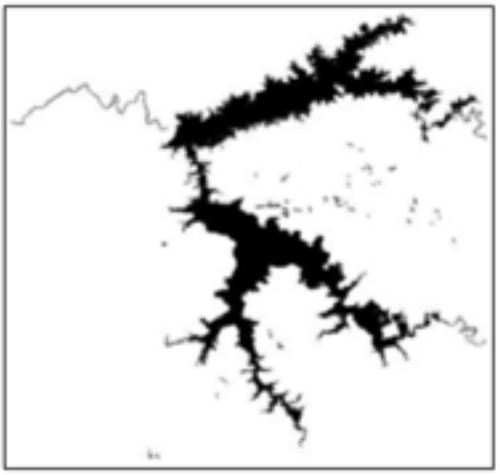


Fig. 12: mmbinary

Em seqüência aplicou-se o operador mmneg com o objetivo de inverter os tons das imagens de modo a serem aplicados os operadores morfológicos. Como pode ser observado nas figuras 13 e 14.

Fig. 13: mmneg

Fig. 14: mmneg

Nas figuras 15 e 16 percebe-se uma quantidade de ruídos indesejáveis ao redor das drenagens e as descontinuidades das mesmas. Com o objetivo de conectar os pontos ou regiões da feição de interesse e poder posteriormente, retirar os ruídos sem alterar a feição de interesse, aplicou-se o operador mmdil,com coeficiente de dilatação 2, e o elemento estruturante sebox sobre o rio sem a barragem e secross, com barragem. As Figuras 15 e 16 apresentam os resultados obtidos com a aplicação do operador.

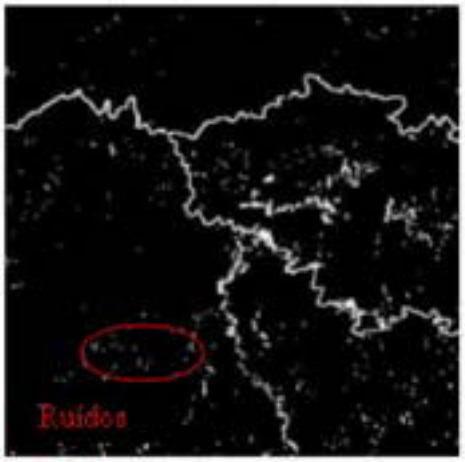


Fig. 15: mmdil (mmsebox)

Fig. 16: mmdil (mmsecross)

De modo a diminuir os ruídos, aplicou-se o operador mmareaopen, com os respectivos limiares 1900 e 1000. Os resultados obtidos estão ilustrados nas figuras 17 e 18

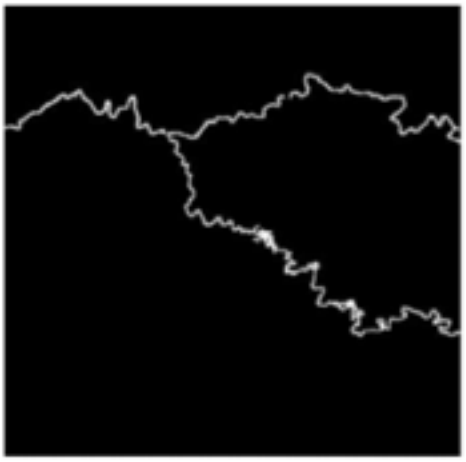


Fig. 17: mmareaopen

Fig. 18: mmareaopen

Nas Figuras 17 e 18, nota-se claramente que os ruídos foram removidos, porém, as feições de drenagens estão com espessuras maiores do que nas imagens originais. Para resolver este problema foi necessário erodir as duas imagens. Os resultados obtidos, após a aplicação do operador mmero, com coeficiente de erosão 2, e elementos estruturantes sebox e secross, respectivamente estão apresentados nas figuras 19 e 20.

Fig. 19: mmero (sebox)

Fig. 20: mmero (secross)

Com o intuito de comprovar visualmente que não houve deslocamento das feições de interesse nas imagens resultantes, as mesmas foram sobrepostas às suas correspondentes originais. O resultado das sobreposições estão apresentados nas figuras 21 e 22.

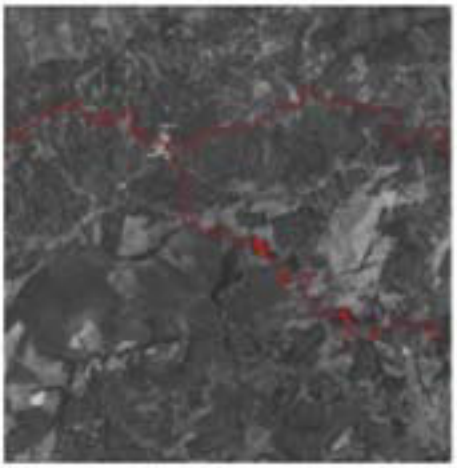


Fig.21: sobreposição

Fig. 22: sobreposição

Da análise das figuras 21 e 22, depreende-se que não houve deslocamento posicional entre as feições de interesse presentes nas duas imagens, este fato comprova a eficiência do uso da MM na cartografia.

6.2 Cálculo das áreas

Sabendo que a resolução espacial de cada pixel das imagens do satélite Landsat-5, é de 30mx30m (900 m²) foi possível determinar a áreas inundada e do reservatório.

6.2.1 Cálculo do reservatório

Utilizou-se a imagem resultante apresentada pela figura 23, aplicando nesta o operador mmareaopen, obtendo assim a quantidade de pixels da drenagem.

Foram obtidos 207.232 pixels. Esse valor foi multiplicado pela área de cada pixel, resultando em 186,5 km2 como sendo a área do reservatório.

6.2.2 Cálculo da área inundada

O mesmo foi feito para a imagem demonstrada pela figura 20. O número de pixels obtidos foi de 2.661 pixels. Para calcular a área inundada foi realizada a subtração entre o total de pixels da imagem extraída contendo o reservatório (207.232) e o total de pixels da imagem resultante sem o reservatório (2.661). A subtração resultou em 204.571 pixels que multiplicados pela área de cada pixel (900 m2) resultou numa área inundada de 184,11 km2.
A figura 22 nos permite visualizar a área inundada, contendo a sobreposição do rio em relação à área do reservatório.

Fig. 23: resultado da sobreposição

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que o trabalho atendeu aos objetivos iniciais de extrações das drenagens e cálculo das áreas do reservatório e inundada, conforme os resultados apresentados nas figuras 20,21 e 22. Desta forma, verifica-se que a utilização de operadores morfológicos na área de Cartografia como meio alternativo para a extração de feições é totalmente viável, visto que a rotina desenvolvida apresentou boa combinação entre os operadores morfológicos e elementos estruturantes, o que permitiu que as extrações das drenagens fossem realizadas com êxito.

Deve-se ressaltar que os limiares adotados basearam-se na análise dos histogramas das imagens envolvidas. A escolha adequada destes limiares é uma das chaves para que os resultados obtidos sejam os melhores possíveis. Ao analisar os resultados obtidos (Figuras 20 e 21) nota-se que não houve deslocamento posicional entre as feições. A extração de redes de drenagem é importante na área de Cartografia, pois estas feições podem ser utilizadas em processos convencionais de atualização de produtos cartográficos que visem, por exemplo, a atualização de cursos de rios que foram desviados, delimitação da extensão e área de reservatório de usinas hidrelétricas, cálculos de impactos ambientais já ocorridos na construção de represas etc.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, FAPESP e FUNDUNES´P pelos apoios financeiros, e ao INPE pelo fornecimento das imagens sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, E. A. Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas. São Paulo:Unesp, 2002. 95p. Tese (livre docência) – faculdade de ciência e tecnologia-fct.

SILVA, E. A. Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas. São Paulo:USP, 1995. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP.

LEONARDI, Fernando ; SILVA, E. A. . The use of mathematical morphology theory in cartography. In: 6th GEOMATIC WEEK, 2007, Barcelona. Proceedings of the 6th GEOMATIC WEEK, 2007.

SDC Information Systems. SDC Morfhology "Toolbox" For Matlab 5. January 20, 1999

FACON, J. Morfologia Matemática: Teorias e Exemplos. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 1996. xii. 320p: il.

SOILLE, P. Morphological Image Analysis: Principles and applications. Springer-Verlag, Berlin, 1999. 298p.

SERRA, J. Image analysis and mathematical morphology. London: Academic Press, 1982. 610p.

GOUTSIAS, J., HEIJMANS, H.J.A M. Mathematical Morphology. 2000. ISBN 1 58603 056 6.

BANON, G.J.F.; BARRERA, J. Bases da Morfologia Matemática para a Análise de Imagens Binárias. UFPe. Recife, 1994.

Efecto del calentamiento global sobre las lagunas de la Mesa Central Potosina, México.

Cristina Noyola-Medrano [1] y Marco Antonio Rojas-Beltran [2]

[1] IPICYT, Geociencias Aplicadas, San Luis Potosí, Mexico, 0052 834 2049
[2] Université Paris 7. PRODIG UMR 8587, Paris, Francia, 0052 841 6828
(marbel_red@yahoo.com); (cristina.noyola@titan.ipicyt.edu.mx)

RESUMEN

El calentamiento global capta cada vez más nuestra atención porque la temperatura media de la superficie ha aumentado desde finales del siglo XIX. Por eso, en este trabajo se analiza el impacto del calentamiento global sobre la región semidesértica de la Mesa Central Potosina (MCP). Nuestro trabajo se enfoca en el cambio de uso de suelo (CUS), la variación de humedad y temperatura superficial de una serie de lagunas someras ubicadas entre los estados de San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas (ZAC), México. Las lagunas de esta zona son de origen tectónico y se caracterizan por su poca profundidad, alta salinidad y cuerpos de agua intermitentes. Si bien estas características son propias de lagunas de tipo graben, existen varios factores que afectan la superficie de las lagunas y sus áreas circundantes como el clima, el crecimiento urbano, desarrollo de zonas agrícolas y de producción salina. Para observar diversos cambios en la zona, se realizó un análisis multitemporal y multiespectral de imágenes Landsat TM, Landsat ETM+ y ASTER con la finalidad de encontrar cambios de uso de suelo, humedad y temperatura para la zona de estudio entre los años 1990 y 2005. La metodología utilizada incluye análisis de Índice Normalizado de Vegetación e Índice Normalizado de Agua (NDVI y NDWI por sus siglas en inglés), obtención de temperaturas a partir de banda termal y clasificación supervisada. Los resultados muestran incrementos en la zona urbana y de cultivo, disminución y pérdida de la vegetación natural y cuerpos de agua que ocasionan aumentos de temperatura de hasta 8°C en los últimos 15 años. El análisis de las imágenes nos permite constatar que existe una relación entre la desaparición de la vegetación natural, la disminución y/o desaparición de los cuerpos de agua y el aumento de la temperatura de la superficie.

Palabras clave: Landsat, ASTER, temperatura, NDVI, NDWI.

ABSTRACT

Global warming captures our special attention, because the average surface temperature has increased since the late nineteenth century. Therefore, this work analyzes the impact of global warming on the semi-desert zone of Mesa Central Potosina (MCP). Our approach is focused on changing land use (CLU), and the variation of surface temperature and humidity on shallow lagoons located between the States of San Luis Potosi (SLP) and Zacatecas (ZAC), Mexico. Lagoons in this area have tectonic origin and they are characterized by shallow depth, high salinity and the presence of water intermittently. While these features are characteristic of graben-type lagoons, there are several factors affecting the surface of them and their surrounding areas, such as, climate, urban growth, development of agricultural areas and salt production. To measure the CLU, changes in humidity and temperature in the region, it was analyzed multitemporal and multispectral Landsat TM, Landsat ETM + and ASTER images between 1990 and 2005. The methodology includes analysis of vegetation and water indices (NDVI and NDWI), the extraction of surface temperature from the thermal bands and supervised classification. The results show increases in urban and cropping areas, reduction and loss of water bodies and natural vegetation, causing increases in temperature to 8°C, in the last 15 years. The analysis of satellite images has allowed us to verify a correlation between the decrease in natural vegetation, declining of water bodies and increasing the surface temperature.

Keywords: Landsat, ASTER, temperature, NDVI, NDWI

INTRODUCCIÓN

Las temperaturas se han incrementado en las últimas décadas, sobre todo en las latitudes cercanas al norte (Hansen et al., 2006). Este incremento ocasiona cambios en los ecosistemas incluyendo modificación en la cobertura vegetal (Go etz et al., 2005; Zhang et al., 2007) e incremento en la densidad de matorral y chaparral secundario (Sturm et al., 2001, Tape et al., 2006; Goetz et al., 2007). La mayor causa de estos cambios ambientales globales es la actividad del hombre en el pasado y en el presente (Singh, 1996; Loehle, 2004). Uno de los resultados más visibles de las modificaciones del hombre sobre el ecosistema

terrestre es el CUS (Weng, 2001), por lo que la historia del CUS nos ayuda a explicar la extensión espacial y el grado del cambio por si mismo, y nos permite entender la dinámica del cambio ambiental en relación a la población (Xiao y Weng, 2007).

En la MCP entre los estados de SLP y ZAC se pueden observar una serie de lagunas someras que por las características semiáridas de la región normalmente presentan un tirante de agua intermitente. Las lagunas de regiones semiáridas como las de la MCP, han sido estudiadas en otras partes del mundo, pues ellas constituyen ecosistemas valiosos y productivos que se han ido perdiendo o degradando durante el siglo XX a causa de la presión humana (Davis y Froend, 1999; Tiner, 2002), especialmente por intensificación de la agricultura (Barbier, 2004; Castañeda y Herrero, 2008) y por el cambio global de temperatura que ha incrementado las tasas de evapotranspiración ocasionando pérdida de los cuerpos de agua someros y cambios en la flora origi nal (Iriarte, 2006; Schuol et al., 2008).

En la zona de estudio existen poca o nula investigación con respecto a cambios registrados en temperatura, humedad de la superficie y al CUS. Por eso, el objetivo de este trabajo es establecer una metodología para el estudio de algunas de las lagunas de la MCP y sus zonas aledañas. Este objetivo incluye: (i) Registro de cambios de temperatura, humedad y lozanía de vegetación y (ii) Observación de CUS. Para cumplir el objetivo hemos realizado análisis a partir de imágenes Landsat TM, ETM+ y ASTER y hemos hecho uso de Sistemas de Información Geográfica como una herramienta de integración de la información de diferentes fuentes, así como la información generada y los datos obtenidos en campo.

ZONA DE ESTUDIO

Las lagunas de la MCP están situadas en la parte central de México en los lím ites de los estados de SLP y ZAC, entre 22°22' - 22°39' de latitud Norte y entre 101°40' – 101°47' de longitud Oeste (Figura 1). La zona de estudio cubre una superficie de 425 km2. Geológicamente el área presenta una secuencia Mesozoica constituida por turbiditas las cuales están cubiertas discordantemente por rocas volcánicas y conglomerados del Terciario (Silva-Romo et al., 2000; López-Loera et al., 2008). Las lagunas de la región están constituidas principalmente por aluvión del Cuaternario. Su formación y control estructural está regido por el sistema regional de fallamiento, cuyas orientaciones principales son N45E y N35W (Labarthe-Hernández et al., 1982; Aranda-Gómez et al., 1989; Nieto-Samaniego y Alaniz-Alvarez, 1997).

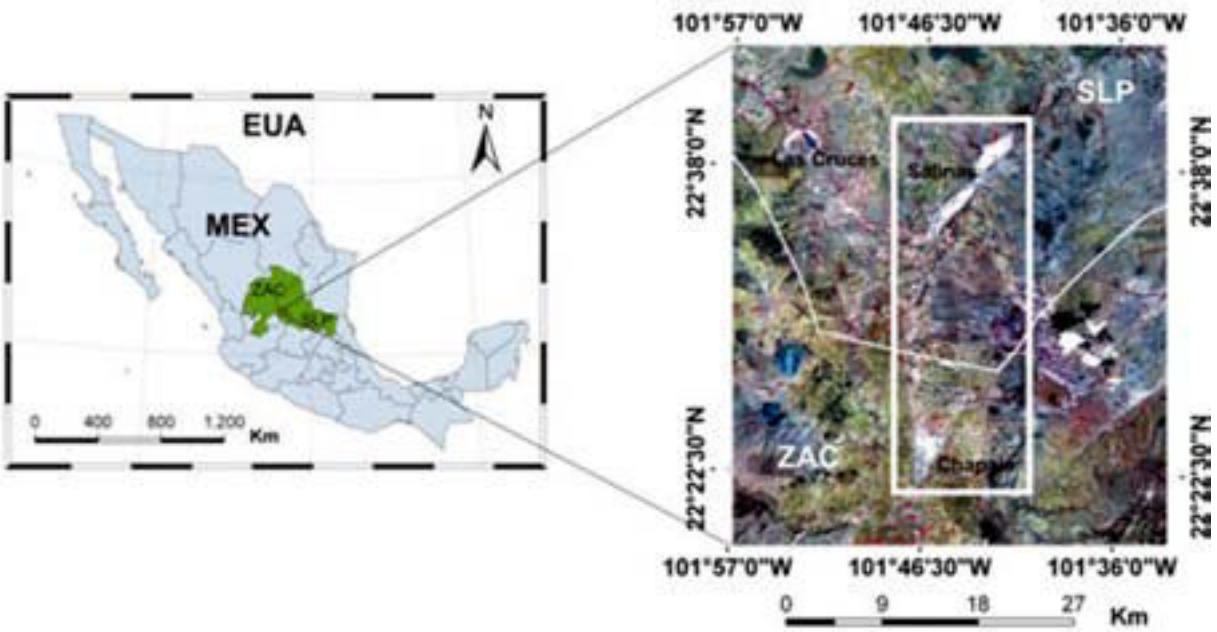


Figura 1. Localización de la zona de estudio. EUA (Estados Unidos de América), MEX (México), SLP (San Luis Potosí) y ZAC (Zacatecas).

Geomorfológicamente, la zona está constituida por lomeríos alargados y grandes valles. Las alturas varían de 2067 m en los valles hasta 2700 m en las partes más altas de algunas sierras. La hidrografía consiste principalmente de arroyos intermitentes que la mayor parte del año no llevan agua pues el agua de lluvias se infiltra rápidamente. Las lagunas más importantes de la región son las de Salinas, las Cruces y Chapala (Figura 1). El clima varía de seco templado a frío con una temperatura media anual de 17°C, alcanzando temperaturas máximas en julio y temperaturas mínimas en enero. La precipitación media anual varía entre los 300 y 400 mm con un periodo de lluvias de junio a septiembre. El tipo de flora predominante es el matorral micrófilo, desértico, espinoso y pastizales. En el caso de las lagunas de la MCP predominan los suelos sin vegetación, con excepción de la poca vegetación halófila, evidencia de la proximidad de agua con alta concentración de sales (Figura 2). En cuanto a la fauna de la región, está representada principalmente por gato montés, roedores, algunas aves como halcón, cuervo y tordo, arácnidos y algunas especies de víboras como la cascabel. Las especies domésticas son ganado porcino, equino, ovino, bovino, caprino, conejo y aves de corral. Las principales actividades en la zona son agricultura, pastoreo e industria salinera (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarr ollo Municipal, 2005).

Desde una perspectiva ambiental y global, las lagunas de la MCP están situadas en un territorio vulnerable donde los cambios de paisaje pueden ser interpretados como peligro de degradación debido a la expansión de la agricultura (Koc h, 2000). En la zona de estudio, el progreso de zonas de irrigación (Figura 3) es visible en las imágenes de satélite.

Figura 2. Fotografías de campo en (a) laguna Salinas, (b) laguna las Cruces y (c) detalle de la vegetación halófila sobre laguna Chapala.

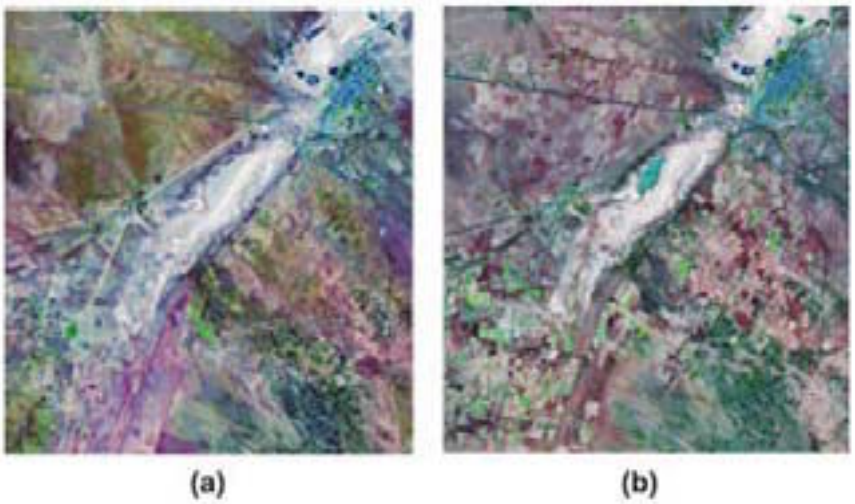


Figura 3. Laguna Salinas y su zona aledaña: (a) combinación RGB 541 de imagen Landsat TM de 1990 y (b) combinación RBG 432 de imagen ASTER de 2005. Aquí se puede observar crecimiento de la zona urbana (color azul) y aumento de zonas de cultivo en áreas cercanas a la laguna.

DATOS ANALIZADOS

Para este trabajo hemos seleccionado tres imágenes de satélite: Landsat 5 TM (marzo 16, 1990), Landsat 7 ETM+ (noviembre 1, 2001) y ASTER (noviembre 12, 2005). La selección de las imágenes estuvo basada en la facilidad de acceso y al cubrimiento temporal. Los programas utilizado para el tratamiento de imágenes y SIG fueron ENVI v. 4.4 y ArcGIS v. 9.2.

METODOLOGÍA

Pre-procesamiento

Todas las imágenes fueron georreferidas utilizando el datum WGS84 y el sistema de coordenadas UTM zona 14 Norte. Las bandas de la región del visible e infrarrojo fueron remuestradas a 30 m y las bandas térmicas fueron remuestreadas a 60 m. Como métodos de calibración se calcularon la radiancia y reflectancia para cada imagen analizada (Tabla1), utilizando ecuaciones sugeridas por varios autores (Abrams et al., 1999; Chander y Markham, 2003; Huang et al., 2001; Smith, 2008).

Tabla 1. Definición de parámetros y ecuaciones utilizadas. Ll (radiancia espectral en W/(m2*sr*mm)); ND (Número digital); Grescale (ganancia en W/(m2*sr*mm)/ND); Brescale (bias en W/(m2*sr*mm)); CC (Coeficiente de conversión); r (reflectancia); d (distancia tierra-sol en unidades astronómicas); ESUNl (irradiación solar promedio); q (ángulo zenit = 90 – ángulo de elevación solar); T (temperatura); K1 (constante 1 en W/(m2*sr*mm): TM = 607.76 y ETM+ = 666.09); K2 (constante 2 en (Kelvin): TM = 1260.56 y ETM+ = 1282.71); RNIR (reflectancia de la banda del infrarrojo cerano TM/ETM+ banda 4 (0.78 – 0.90 mm), ASTER banda 3 (0.76-0.86 mm)); RRED (reflectancia de la banda rojo del visible (0.63 -0.69 mm) banda 3 TM / ETM+ y banda 2 ASTER); RSWIR (reflectancia para banda del infrarrojo intermedio: banda 5 (1.55 – 1.75 mm) TM/ETM+ y banda 4 (1.6 – 1.7 mm) ASTER). Ecuaciones y datos de calibración tomados de Chander y Markham (2003), Smith (2008) y de Landsat Handbook. Otros datos son tomados directamente de los archivos de encabezado de las imágenes.

Parámetro	Ecuación
Radiancia Landsat TM y ETM+	$L_\lambda = G_{rescale} * ND * B_{rescale}$
Radiancia ASTER	$L_\lambda = (ND-1) * CC$
Reflectancia Landsat TM, ETM+ y ASTER	$\rho = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos\theta}$
Temperatura	$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda}+1\right)}$
Índice Normalizado de Vegetación	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$
Índice Normalizado de Agua	$NDWI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}}$

NDVI y NDWI

El cálculo de NDVI y NDWI es comúnmente utilizado para obtener información acerca de la cantidad de clorofila y contenido de humedad presente tanto en la vegetación como en el suelo (Jackson et al., 2004; Chen et al., 2006; Noyola-Medrano, 2006). En este trabajo hemos calculado ambos parámetros a partir de datos de reflectancia (Tabla 1) con el objetivo de observar su cambio en el tiempo.

Tabla 2. Parámetros registrados a partir de imágenes de satélite para las tres fechas analizadas: S1, S2 y S3 (superficies registradas en porcentaje); T1, T2 y T3 (registros de temperatura) y registros de NDVI y NDWI. La tasa de cambio fue calculada a partir de Tc = (T2 / T1)(1/t) – 1: donde Tc (tasa de cambio), T2 (unidad en tiempo 2), T1 (unidad en tiempo 1) y t (cantidad de años entre las dos fechas).

Uso de suelo	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)	S1-S2	S1-S3	S2-S3
Matorral seco	41.035	28.699	33.597	-0.032	-0.013	0.040
Encino	3.821	5.889	2.018	0.040	-0.042	-0.235
Pastizal	22.758	19.013	13.314	-0.016	-0.035	-0.085
Cultivo seco	21.773	32.667	38.261	0.038	0.038	0.040
Cultivo verde	0.429	0.603	0.997	0.031	0.058	0.134
Suelo seco	1.857	1.502	2.619	-0.019	0.023	0.149
Suelo húmedo	7.633	10.003	3.771	0.025	-0.046	-0.216
Z. urbana	0.414	0.646	0.9	0.041	0.053	0.086
Agua con sal / veg	0.09	0.789	0.045	0.218	-0.045	-0.511
Uso de suelo	**T1 (°C)**	**T2 (°C)**	**T3 (°C)**	**T1-T2**	**T1-T3**	**T2-T3**
Matorral seco	27.84	30.15	29.43	0.007	0.004	-0.006
Encino	24.56	27.34	29.11	0.010	0.011	0.016
Pastizal	27.75	30.48	29.52	0.009	0.004	-0.008
Cultivo seco	27.89	29.96	29.94	0.007	0.005	0.000
Cultivo verde	24.32	26.94	29.3	0.009	0.012	0.021
Suelo seco	23.08	27.36	29.17	0.016	0.016	0.016
Suelo húmedo	26.4	29.81	28.11	0.011	0.004	0.015
Z. urbana	25.29	26.53	28.78	0.004	0.009	0.021
Agua con sal / veg	20.69	19.82	27.85	-0.004	0.020	0.089
Uso de suelo	**NDVI1**	**NDVI2**	**NDVI3**	**VI1-VI2**	**VI1-VI3**	**VI2-VI3**
Matorral seco	0.18	0.19	0.01	0.005	-0.175	-0.521
Encino	0.19	0.24	0.1	0.021	-0.042	-0.197
Pastizal	0.16	0.18	-0.01	0.011	-0.169	-0.515
Cultivo seco	0.17	0.22	0	0.024	-1.000	-1.000
Cultivo verde	0.45	0.5	0.15	0.010	-0.071	-0.260
Suelo seco	0.13	0	-0.08	-1.000	-0.032	0.000
Suelo húmedo	0.15	0.13	-0.03	-0.013	-0.102	-0.307
Z. urbana	0.17	0.15	-0.04	-0.011	-0.092	-0.281
Agua con sal / veg	0.12	0.15	-0.04	0.020	-0.071	-0.281
Uso de suelo	**NDWI1**	**NDWI2**	**NDWI3**	**WI1-WI2**	**WI1-WI3**	**WI2-WI3**
Matorral seco	0.09	0.23	0.1	0.089	0.007	-0.188
Encino	0.14	0.26	0.11	0.058	-0.016	-0.193
Pastizal	0.09	0.23	0.11	0.089	0.013	-0.168
Cultivo seco	0.1	0.24	0.1	0.083	0.000	-0.197
Cultivo verde	0.34	0.34	0.15	0.000	-0.053	-0.185
Suelo seco	0.12	0.24	0.12	0.065	0.000	-0.159
Suelo húmedo	0.16	0.25	0.13	0.041	-0.014	-0.151
Z. urbana	0.17	0.25	0.14	0.036	-0.013	-0.135
Agua con sal / veg	0.31	0.48	0.15	0.041	-0.047	-0.252

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La clasificación supervisada nos permite constatar que hay cambios importantes en el uso de suelo de la zona de estudio. Por ejemplo, en 1990, la clase de matorral seco es más abundante que en las dos fechas posteriores. También es posible observar un aumento en la clase de encinos para el 2001, en donde se registra un aumento general en los valores de NDVI y de NDWI (Figura 4). Este cambio es debido a mayores periodos de lluvia en la región que fueron corroborados con datos de la estación climatológica ubicada en Salinas. El cambio de la zona urbana es observado sobretodo en Salinas ubicada en el extremo noreste de la imagen. La figura 4 muestra también que en el 2005 se registran las mayores temperaturas y los valores más bajos de NDVI y NDWI.

Con respecto a las zonas de las lagunas observamos que para 1990 y 2001 se registran valores de temperatura menores a 22°C mientras que en el 2005 las zonas de lagunas presentan valores de temperatura que oscilan entre 22°C y 26°C, registrándose por lo tanto una diferencia de al menos 5°C entre las temperaturas observadas en 1990 – 2001 y 2005. Por otra parte, la tabla 2 (cuantificación de la tasa de cambio de cada unidad de uso del suelo), nos permite constatar que los mayores CUS se efectuaron entre 2001 y 2005, en donde las clases de "encino", "suelo húmedo y "agua con sal / vegetación" tuvieron pérdidas importantes de superficie.

Una primera relación entre los CUS y los parámetros de NDVI, NDWI y temperatura, nos permite sugerir que los CUS generan también cambios en los otros parámetros. En la tabla 2 observamos que algunas disminuciones importantes de NDVI y NDWI están relacionadas a un aumento de temperatura y a un aumento o disminución importante de cobertura de suelo. Por ejemplo, las disminuciones de superficie de las clases "encino", "suelo húmedo" y "agua con sal / veg", están relacionadas con decrementos importantes de NDVI y de NDWI, mientras que la temperatura aumenta considerablem ente en este periodo. En el caso de las clases de "cultivo seco" y "cultivo verde" en las cuales registramos un aumento de superficie, observamos también un aumento de temperatura y pérdidas importantes de clorofila y humedad. Estos cambios se deben principalmente a tierras agotadas por prácticas de cultivo inadecuadas, como siembra del mismo tipo de semilla por varios años y abandono del terreno deteriorado, que da origen a vegetación secundaria de tipo pastizal y / o a suelos desprovistos de vegetación. Aunque la zona urbana ocupa extensiones pequeñas de terreno, de cualquier manera contribuye al aumento de temperatura y disminución de NDWI y NDVI en la zona. Chen et al. (2006) y Xiao y Weng (2007) presentan resultados similares a los obtenidos en este trabajo, aunque en el área que ellos estudiaron, los cambios son más evidentes, porque el crecimiento urbano es mayor a lo observado en la MCP, pues la región de Salinas está mayormente avocada a la agricultura y a la industria salinera, por lo que la zona urbana no ha crecido espectacularmente. Pese a ello, es posible observar la influencia humana y climática en zonas originalmente ocupadas por matorral en donde se registran cambios importantes de superficie como los observados entre 1990 y 2001 en donde el cambio es de 41.0 4 % a 28.70%.

Los resultados preliminares de este trabajo nos permiten entre otras cosas observar que existe un cambio de temperatura promedio de la zona que va de 24.87°C en 1990 a 25.12°C en 2005. Las mayores variaciones de temperatura se observan en las temperaturas máximas que varían de 31.76°C en 1990 a 35.29°C en 2005, registrándose un aumento de 0.23°C por año, lo cual es una cifra importante aún cuando ésta es inferior a la de 0.5°C reportada por Houghton et al (1995) a escala mundial. Ahora bien, los cambios de temperatura más importantes están relacionados a la expansión de áreas de cultivos y desecación de lagunas, pues en estas zonas la variación de temperatura es superior a 0.35°C por año, aproximándose más a lo reportado por Houghton et al (1995). Estos resultados nos permiten sugerir que en la zona hay dos grandes factores que han contribuido a su deterioro: 1) la actividad antropogénica que ha ganado espacios para la agricultura, crecimiento urbano y zonas para industria salinera y 2) el aumento de temperatura ocasionado por el cambio climático global que aumentan los procesos de evaporación de la zona, contribuyendo a la dismin ución de los escasos cuerpos de agua y a la pérdida de vegetación natural que no ha sido capaz de adaptarse a los cambios actuales de temperatura.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta resultados preliminares del análisis multitemporal y multiespectral de imágenes Landsat y ASTER con la finalidad de evaluar el impacto del cambio climático global para la MCP entre 1990 y 2005. El estudio estuvo enfocado a la observación del CUS de lagunas someras y áreas aledañas ubicadas entre los estados de SLP y ZAC. Los resultados muestran que las coberturas con mayor cambio fueron "encino", "zonas de cultivo", "zona urbana", "suelo húmedo" y "cuerpos de agua". Estos cambios también están relacionados a cambios de temperatura en la superficie, de NDVI y de NDWI, pues se registró un aumento máximo de temperatura 0.23°C por año, y disminuciones importantes de NDVI y NDWI. Los CUS que más contribuyen a cambios en temperatura, NDVI y NDWI son expansión de cultivos y desecación de lagunas, que ocasionan aumentos de temperatura superiores a los 8°C en los últimos 15 años. Las observaciones realizadas nos permiten concluir que la zona está siendo deteriorada por la actividad antropogénica y el aumento de temperatura ocasionado por el cambio climático global.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a IPICYT por el apoyo logístico para el desarrollo de este trabajo.

C. Noyola agradece a CONACYT por la beca otorgada para estancia postdoctoral lo cual permitió la elaboración de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

Aranda-Gómez, J.J, Aranda-Gómez, J.M., Nieto-Samaniego, A.F. 1989. Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la parte meridional de la Meseta Central. Revista del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, 8: 33-46.

Abrams, M., Hook, S. and Ramachandran, B., 1999, Aster User Handbook, Version 2, NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.

Barbier, E.B. 2004. Agricultural expansion, resource booms and growth in Latin America: Implications for long-run economic development. World Development, 32(1): 137-157.

Castañeda, C., Herrero, J. 2008. Assessing the degradation of saline wetlands in an arid agricultural region in Spain. Catena, 72: 205-213.

Chander, G., Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 41(11): 2674-2677.

Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X., Yin, Z.Y. 2006. Remote Sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. Remote Sensing of Environment, 104: 133-146.

Davis, J.A., Froend, R. 1999. Loss and degradation of wetlands in southwestern Austalia: underlying causes, consequences and solutions. Wetlands Ecology and Management, 7: 13-23.

Goetz, S.J., Bunn, A., Fiske, G., Houghton, R.A. 2005. Satellite observed photosynthetic trend across boreal North America associated with climate and fire disturbance. Proceedings of the National Academy of Sciences , 102: 13521- 13525.

Goetz, S.J., Mack, M.C., Gurney, K.R., Randerson, J.T., Houghton, R.A. 2007. Ecosystem responses to recent climate change and fire disturbance at northern high latitudes: observations and model results contrasting northern Eurasia and North America. Environmental Research Letters, 2, 045031 (9pp) doi:10.1088/1748-9326/2/4/045031.

Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea D.W., Medina-Elizalde, M. 2006. Global temperatura change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103: 14288-14293.

Houghton, J.T., Meria, F.L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Haris, N., Maskell, K. 1995. Climate Change 1994: Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. In: Reports of Working Group I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK

Huang, C., Yang, L., Homer, C., Wylie, B., Vogelman, J., DeFelice, T. 2001. At-Satellite Reflectance: A First Order Normalization of Landsat & ETM+ Images. USGS Land Cover Program Publications.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México – San Luis Potosí. http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ EMM_sanluispotosi (consultado el 10 de junio 2008).

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México – Zacatecas. http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_zacatecas (consultado el 10 de junio 2008).

Iriarte, 2006. Vegetation and climate change since 14,810 14C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications of the rise of early formative societies. Quaternary research, 65(1): 20-32.

Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P, Hunt, E.R. 2004. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. Remote Sensing and Environment, 92: 475-482.

Koch, M. 2000. Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: a cause study in Los Monegros, north-east Spain. International Journal of Remote Sensing, 21(3): 457-473.

Labarthe-Hernández, G., Tristán, M., Aranda-Gómez, J.J. 1982. Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estados de San Luis Potosí. Folleto Técnico del Instituto de Geología y Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 85: 1-208.

Landsat Handbook. http://landsathandbook .gsfc.nasa.gov/handbook.html, (consultado el 7 de mayo 2008)

Loehle, C. 2004. Climate Change: detection and attribution of trenes from long-term geologic data. Ecological modeling, 171(4): 433-450.

López-Loera, H., Aranda-Gómez, J.J, Arzate, J.A., Molina-Garza, R.S. 2008. Geophysical surveys of the Joya Honda maar (México) and surroundings; volcanic implications. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 170(3): 135-152.

Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Alvarez, S.A. 1997. Origin and tectonic interpretation of multiple fault patterns. Tectonophysics, 270: 197-206.

Noyola-Medrano, M.C. 2006, L'évolution morphologique actuelle du Champ Volcanique de la Sierra Chichinautzin (Mexique) à partir de l'analyse tomomorphométrique des cônes de scories et du changement de l'occupation du sol, [thèse de doctorat] : Université Paris 7 Denis-Diderot, Paris, France.

Schuol, J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., Yang, H. 2008. Estimation of freshwater availability in the West African subcontinent using the SWAT hydrologic model. Journal of Hydrology, 352(1): 30-49.

Silva-Romo, G., Arellano-Gil, J., Mendoza-Rosales, C., Nieto-Obregón, J. 2000. A submarine fan in the Mesa Central, Mexico. Journal of South American Herat Sciences, 13: 429-442.

Singh, R.B. 1996. Global environmental change: Perspective of Remote sensing and Geographic Information system. Balkema Publishers, Rotterdam.

Smith, A.M.S. 2008. How to convert ASTER radiance values to reflectance. http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984 (consultado el 15 de abril 2008).

Tiner, R.W. 2002. Watershed-based wetland planning and evaluation. A collection of papers from the wetland millennium event (August 6-12, 2000; Quebec City, Canada). Association of State Wetland Managers, Inc., Berne, NY. 141 pp, (compiler).

Xiao, H., Weng, Q. 2007. The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China. Journal of Environmental Management, 85: 245-257.

Weng, Q. 2001. A remote sensing-GIS evaluation of the urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. International Journal of Remote Sensing, 22(10): 1999-2014.

Utilização de imagens MSS/Landsat para o mapeamento da cobertura florestal da planície do Lago Grande de Curuai, pa.

Renó, V.F.; Novo, E.M.L.M.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSR/OBT)
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
(vivianfr, evlyn)@dsr.inpe.br

RESUMO

Imagens antigas do sensor MSS Landsat-2 (20/09/1977, órbita-ponto: 245-61) foram submetidas ao modelo linear de mistura espectral gerando as imagens fração solo, sombra e vegetação. Estas foram segmentadas e classificadas segundo um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado (ISOSEG).
Os temas gerados foram associados às seguintes classes pré-estabelecidas: 1) floresta-1, 2) floresta-2, 3) nãofloresta, 4) água, 5) solo exposto e, 6) nuvem. O mapa resultante foi comparado a dados recentes de cobertura vegetal do Projeto PRODES, gerando um mapa de desflorestamento da várzea entre 1977 e 2006. Os resultados obtidos destes procedimentos mostraram a existência de áreas desflorestadas em grande parte da várzea da planície do Lago Grande de Curuai, indicando que, o mapa de referência utilizado para a determinação das taxas de desflorestamento da Amazônia minimizou a remoção de florestas inundáveis anteriores à década de 1980.

Palavras chave: sensoriamento remoto, desflorestamento, florestas alagáveis.

INTRODUÇÃO

As florestas inundáveis da bacia Amazônica são ecossistemas ricos em recursos naturais e de grande importância ecológica, econômica e social. O controle do desflorestamento nestas áreas é fundamental, não apenas pela destruição da floresta, mas pelo impacto imediato que ela tem sobre a circulação da água nas várzeas (Barbosa, 2005), na biodiversidade dos sistemas aquáticos (Costa et al., 2007), na produção pesqueira, na qualidade da água e na saúde das populações ribeirinhas (Novo et al., 2007).
Um dos mapas mais recentes (1996) sobre a cobertura vegetal da várzea dos rios Amazonas\Solimões (Hess et al., 2003) aponta uma grande diferença entre a região à montante da confluência do Amazonas\Solimões com o rio Negro e a região à jusante. À montante de Manaus, as Florestas Inundáveis dominam a paisagem das várzeas, enquanto que à jusante, a vegetação é predominantemente herbácea e arbustiva.
Estudos realizados por WinklerPrins (2006) mostram que a produção da juta praticamente dominou a atividade agrícola na várzea do Rio Amazonas, de Manaus a Santarém, entre os anos de 1930 e 1990. Segundo a autora, nesta região a cobertura vegetal da planície é bastante alterada, consistindo em uma mistura de floresta nativa, floresta em regeneração, campos naturais, pomares e plantações. A ocupação das ilhas e margens da planície é antiga, tendo sido manipulada por humanos durante séculos, havendo relatos de que a população nativa da região já ocupava a planície muito antes do descobrimento do Brasil. No século XIX as planícies de inundação foram desflorestadas para dar lugar a plantações de cacau, mas o pico do desflorestamento das várzeas ocorreu com a introdução da Juta. Embora algumas áreas abandonadas tenham assistido à recuperação da floresta com o colapso da juta, em torno de 1990, houve também a expansão da atividade pecuária para a planície, devido à introdução do búfalo e a pressão contra a remoção da floresta e programas de controle do desflorestamento.
Por estas razões, a hipótese deste trabalho é que a diferença identificada na cobertura vegetal (Hess et al., 2003) não seja apenas devido a fatores naturais, mas tenha também um componente importante de interferência antrópica. Partindo deste pressuposto, objetiva-se o mapeamento da cobertura vegetal da planície do Lago Grande de Curuai, localizada ao Sul da cidade de Óbidos (PA), a partir de imagens MSS/Landsat da década de 1970. Esses dados, quando comparados a dados recentes de cobertura vegetal, permitem criar um mapa para avaliação das áreas de várzea desflorestadas da planície do Lago Grande de Curuai.

METODOLOGIA

A área de estudo, denominada planície do Lago Grande de Curuai (LGC), compreende uma área de aproximadamente 3500 Km2, localizada ao Sul da cidade de Óbidos (PA) (Figura 2.1), a 900 km da foz do rio
Amazonas (1,5° S, 55.43º W). A planície é constituída por mais de 20 lagos interligados por canais de comunicação que se mantêm durante todo o ciclo hidrológico.

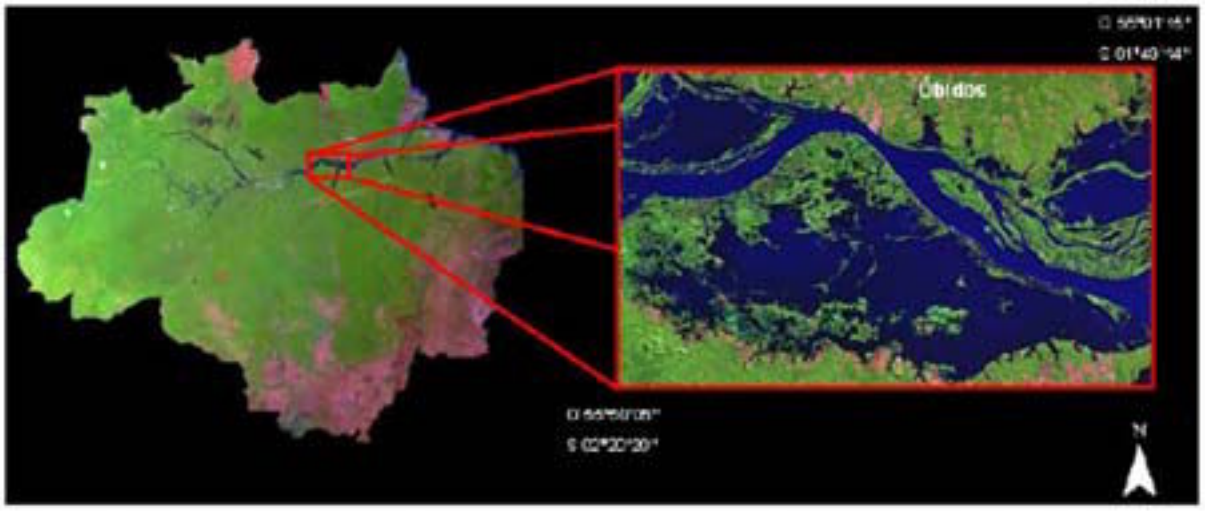


Figura 2.1 - Área de Estudo: Planície do Lago Grande de Curuai (Fonte: Adaptado de Embrapa)

Com o intuito de recuperar a informação sobre a antiga cobertura florestal de várzea da planície LGC, foram utilizadas as quatro bandas espectrais (b4, b5, b6 e b7) de uma imagem do sensor MSS Landsat-2 (20/09/1977, órbita-ponto 245-61) que, além de ter sido adquirida na fase hidrológica de vazante, possui baixa cobertura de nuvem. O sensor MSS foi escolhido pelo seu potencial para o mapeamento da cobertura vegetal, e, principalmente, pela disponibilidade de imagens antigas, desde 1973, fundamentais para a realização deste trabalho.

Além da imagem MSS, foram utilizados um mapa temático de cobertura vegetal (2000 – 2006) gerado pelo Projeto PRODES digital (http://www .obt.inpe.br/prodes/) e; uma cena TM Landsat-5 georreferenciada, referente a área de estudo (28/10/1999, órbita-ponto 228-61).

O processamento digital da imagem foi realizado através do programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) / São José dos Campos (Câmara et al, 1996).

Adotou-se a projeção UTM Mercator e datum horizontal de referência SAD 69 para o banco de dados por serem os mais adequados à escala regional de trabalho desta pesquisa (D'alge, 2001). Após a importação dos dados de entrada para o projeto georreferenciado criado anteriormente, foi feito o registro da imagem MSS utilizando a imagem TM como referência. Foram adquiridos oito pontos de controle, bem distribuídos ao longo da cena, e ajustado um polinômio de 1o grau para efetuar a associação das coordenadas da imagem MSS com os pontos de controle adquiridos na imagem de referência.

Após o georreferenciamento, as imagens foram utilizadas como entrada para um modelo linear de mistura. A adoção desse modelo para o mapeamento da cobertura vegetal se deu, principalmente, por ser esse o modelo adotado pelo PRODES para o mapeamento das áreas de desflorestamento (Shimabukuro e Smith, 1991, Shimabukuro et al, 1998, Câmara et al., 2006). Esse modelo pressupõe que a energia refletida por um pixel de imagem pode ser representada pela mistura espectral dos componentes dentro do elemento de resolução do sensor, e que essa mistura pode ser representada por uma relação linear. Assim, a resposta de cada pixel, em qualquer banda espectral, pode ser definida como uma combinação linear das respostas de cada componente, desde que esteja no alvo sensoriado. Desse modo, cada pixel da imagem contém informações sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente dentro de cada elemento de resolução. Portanto, para qualquer imagem multiespectral, como por exemplo, a do MSS/Landsat, se as respostas espectrais dos componentes são conhecidas, então as proporções dos componentes podem ser estimadas (Shimabukuro et al, 1998).

Para que o modelo possa ser aplicado, é importante definir com bastante precisão os membros de referência (endmembers) que representarão o comportamento espectral dos componentes “puros” nos quais a energia refletida, em cada pixel da imagem, será decomposta, em termos da proporção com que contribuem para seu sinal gerando as chamadas imagens-fração.

Neste estudo foram obtidas, diretamente na imagem, as respostas espectrais dos componentes “puros” solo, vegetação e sombra (água preta). A partir dai, foi possível estimar as proporções de cada um dos componentes dentro dos pixels da imagem original, gerando as imagens-fração correspondentes. Nesta etapa foram utilizadas todas as bandas do MSS, formando um sistema de equações lineares que pode ser resolvido pelo método dos mínimos quadrados

(Shimabukuro & Smith, 1991).
As imagens-fração resultantes da aplicação do modelo de mistura foram submetidas á classificação por regiões, também para adotar procedimento semelhante ao do projeto PRODES. A segmentação de imagem é uma técnica de agrupamentos de dados, na qual somente as regiões espacialmente adjacentes e de características espectrais semelhantes podem ser agrupadas. Para realizar o processo de segmentação é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, que é a diferença mínima entre os níveis de cinza da imagem para a definição de uma borda entre áreas e; b) o limiar de área, valor de mínima dimensão, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada. No presente trabalho, as imagens fração solo,sombra e vegetação foram segmentadas pelo método de crescimento de regiões, utilizando os limiares de similaridade e de área iguais a oito (valor definidos após a aplicação de testes).
Uma vez realizada a segmentação, torna-se necessário, como fase seqüencial de operação, a criação de um arquivo de contexto e extração de regiões antes da fase de classificação propriamente dita. Nesse arquivo de contexto ficam armazenadas as informações sobre o tipo de classificação (classificação por regiões), as bandas ou imagens utilizadas, e a imagem segmentada. Na fase de extração das regiões um algoritmo extrai os atributos estatísticos (médias e matrizes de covariância) do conjunto de regiões definido pela segmentação. Em seguida inicia-se o processo classificatório, cujas imagens-fração segmentadas são tratadas por um algoritmo não-supervisionado de agrupamento de dados (ISOSEG). Este algoritmo leva em consideração os atributos estatísticos de regiões, dentro de certos limiares de aceitação pré-determinados, para a definição de diferentes
temas. Neste trabalho, foi utilizado um limiar de aceitação igual a 75%, para a geração do maior número de temas possível.
Os temas resultantes da classificação foram associados às classes floresta-1, floresta-2, não-floresta, solo exposto, água e nuvem, gerando um mapa da cobertura florestal referente ao ano de 1977. Cabe ressaltar que a classificação adotada para as áreas florestadas (floresta-1 e floresta-2) deve-se à diferença identificada no grau de integridade da cobertura vegetal arbórea. As áreas classificadas como floresta-1 são relativas à floresta densa e possuem alta proporção do componente vegetação. Já as áreas classificadas como floresta-2, além de possuírem uma alta proporção do componente vegetação, possuem também uma maior proporção do componente sombra, indicando serem relativas a floresta alagável ou a áreas de floresta menos densa, provavelmente devido à retirada do sub-bosque.

Com o intuito de gerar um mapa de desflorestamento da várzea, o mapa de cobertura, resultante da etapa anterior, foi combinado com o mapa temático do projeto PRODES (2000-2006), através de uma operação Booleana AND no sistema LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do SPRING. A inferência booleana consiste na combinação lógica de mapas binários ou multiníveis através dos operadores condicionais AND (interseção), OR (união), NOT (negação) e XOR (exclusão). Cada mapa utilizado pode ser entendido como uma camada de informação que é combinada, segundo uma seqüência lógica de regras, para dar suporte a uma hipótese (Moreira da Silva, 2001), gerando como resultado uma nova camada de informação na forma de um mapa temático. Neste trabalho, as áreas correspondentes à classe floresta-1 ou floresta-2 no mapa de cobertura de 1977 e que, no mapa temático do PRODES, correspondiam à classe não-floresta, foram classificados como desflorestamento no novo plano de informação gerado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O erro médio quadrático obtido no registro a partir da imagem TM foi de 0,91 pixels. Considerando a resolução de 80x80m, o erro em metros foi de, aproximadamente, 72,8m, considerado aceitável por corresponder a menos de um pixel da imagem.
Como dito anteriormente, após a classificação, os temas resultantes foram associados a classes temáticas préestabelecidas.
A partir de simples análise visual do mapa gerado, é possível constatar a presença de formações florestais em grande parte da várzea da planície LGC. O resultado do mapeamento da cobertura vegetal de várzea da planície LGC, relativo a 1977, é apresentado na figura 3.1.

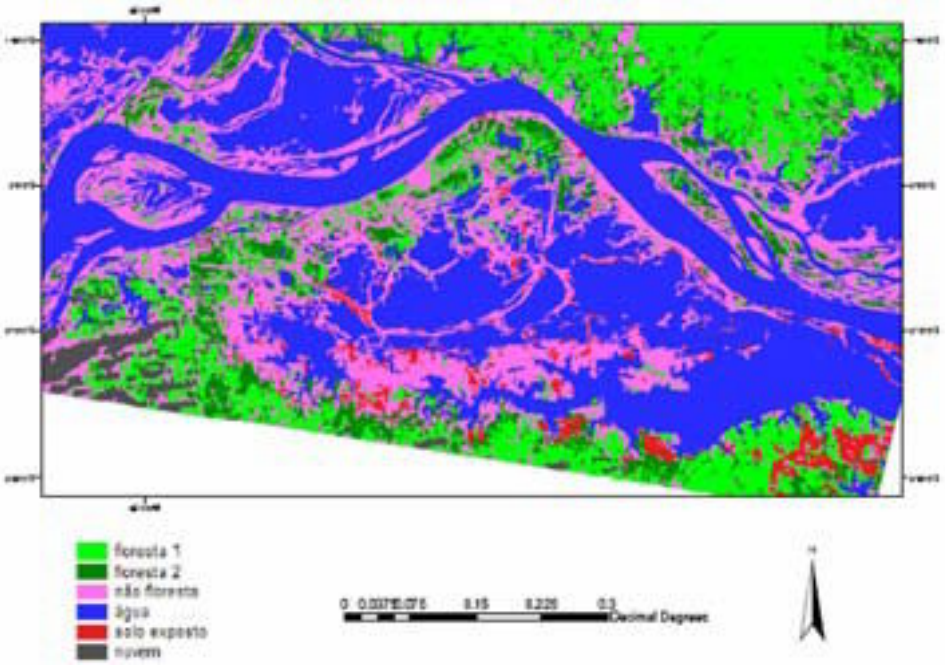


Figura 3.1 - Mapa de cobertura vegetal da Planície do Lago Grande de Curuai relativo a 1977.

Atualmente, segundo dados de cobertura vegetal do PRODES, toda a área de várzea da planície LGC corresponde à área de não-floresta. Sendo assim, após o cruzamento dos dois planos de informação (mapa de cobertura vegetal 1977 e mapa cobertura do PRODES 2000-2006), toda a área de várzea florestada em 1977 foi classificada como desflorestamento no mapa final (Figura 3.2). O cálculo de área de cada classe mapeada pode ser visto na tabela 3.1.

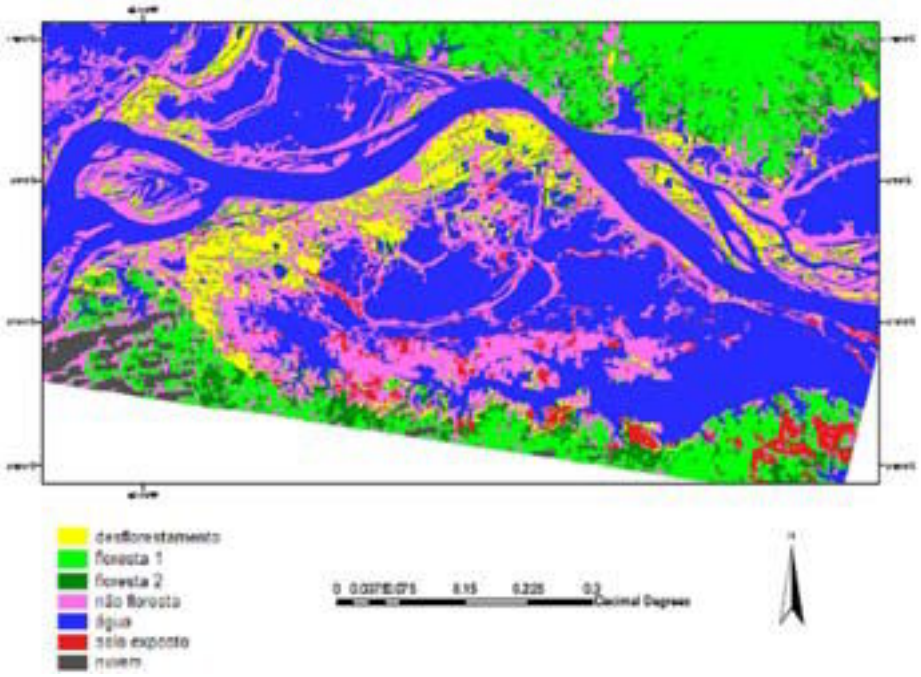


Figura 3.2 - Mapa de desflorestamento da várzea da planície do Lago Grande de Curuai entre 1977 e 2006.

Tabela 3.1 – Cálculo de área das classes mapeadas.

Classes	Área em Km^2
Desflorestamento	422.472013
Floresta-1	1247.407393
Floresta-2	400.8407
Não floresta	1542.550524
Água	2711.489824
Solo	147.075406
Nuvem	103.188694

A análise dos dados mostra a existência de áreas desflorestadas em grande parte da várzea da planície do Lago Grande de Curuai entre 1977 e 2006. Estas áreas de desflorestamento não são apresentadas nos mapas do Projeto PRODES Digital, indicando que os dados de referência do projeto, para a determinação das taxas de desflorestamento da Amazônia, subestimam a existência de florestas inundáveis anteriores à década de 1980.
A constatação do desflorestamento da várzea na planície LGC, levam a crer que muitas das áreas identificadas por Hess et all. (2003) como campos alagáveis (vegetação herbácea), sejam de origem antrópica.
Esses resultados preliminares motivaram uma dissertação de mestrado, já em andamento, visando a ampliação da metodologia para toda a área de várzea compreendida entre Manaus e Belém (Renó, 2008). O objetivo é recuperar a informação da cobertura vegetal de várzea da década de 1970 e gerar um mapa de referência para avaliação do desflorestamento em Áreas Alagáveis, visto que o grande esforço de monitoramento sempre foi centrado em Terra Firme.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As imagens multiespectrais MSS Landsat-3 podem ser utilizadas com sucesso para recuperar informações sobre a antiga cobertura florestal de várzea, visto que: 1) representam a maior série histórica de imagens de sensores multiespectrais, 2) possuem livre distribuição, e 3) apresentam uma resolução espectral que facilita a caracterização de áreas vegetadas.

- A aplicação do modelo linear de mistura espectral facilita a definição dos alvos, tanto visualmente quanto por parte dos algoritmos de classificação não-supervisionados, tornando possível a identificação e o apeamento de feições distintas da cobertura florestal.

- Os resultados obtidos reforçam a hipótese inicial deste trabalho, de que a diferença identificada na cobertura vegetal da várzea dos rios Amazonas/Solimões possua um componente importante de origem antrópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de curuai/rio Amazonas. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Dezembro, 2005.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics, 1996. v.20, p.395-403.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V. Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamentona Amazônia Legal. São José dos Campos: INPE, 2006. 24 p. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://www.obt.inpe.br/prodes >. Acesso em: 20 Jun. 2008.

COSTA, M.P.F.; TELMER, K.H.; NOVO, E.M.L.. Spectral light attenuation in Amazonian waters. Limnology and Oceanongraphy Magazine. 2007.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Ed.). Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.p. 32. (INPE-8079-PRE/3894). Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.47>. Acesso em: 30 jun.

2008.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE – CNPM. Brasil visto do espaço: Amazônia Legal. Disponível em: <ttp://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/aa/index.htm >. Acesso em: 20 Jun. 2008.

HESS, L. L.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C.; GASTIL, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation. Remote Sensing of Environment, v.87, p.404-428, 2003.

MOREIRA da SILVA, F.R. Uso e Avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de poços de caldas. São José dos Campos. 160 p. (INPE-9481-TDI/825). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2001.

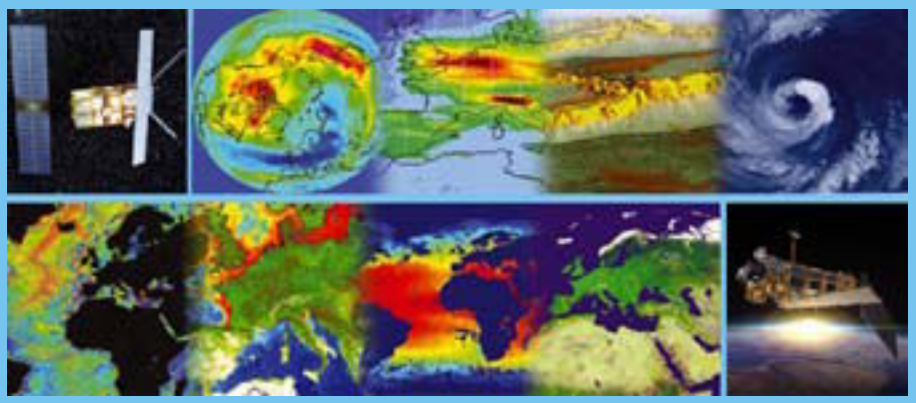
NOVO, E. M. L. M.; AFFONSO, A. G.; MELACK, J. M. Multi-sensor approaches to assess the relationship between wetland deforestation and Amazon floodplain lake eutrophication. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3483-3490.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.29, n.1, p.16-20, 1991.

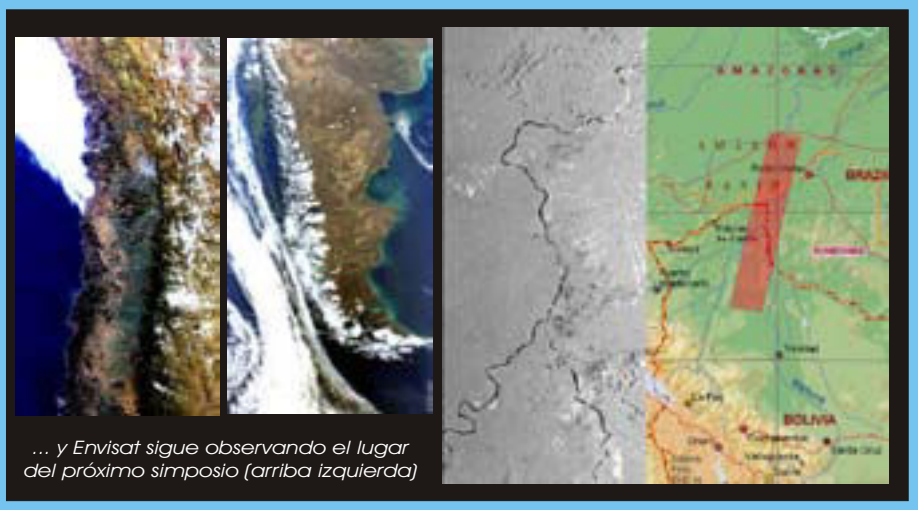
SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira., v 33 Número Especial. 1998.1729-1737p.

RENÓ, V.F Mapeamento da cobertura vegetal da várzea do Rio Amazonas/Solimões anterior a intensificação do desflorestamento da Amazônia Legal a partir de Imagens MSS/Landsat. (Em andamento).

WINKLERPRINS, A. M. G. A. Jute cultivation in the lower Amazon, 1940–1990: an ethnographic account from Santarém, Pará, Brazil. Journal of Historical Geography, 32(4): 818-838, 2006.



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional



... y Envisat sigue observando el lugar del próximo simposio (arriba izquierda)

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64.
00044 Frascati (Roma)
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.409
Fax: (39.06) 94180.280
Att: Sr. Francesco Sarti (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7731, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Marie Elisabeth De Vel (América Latina)

REVISTA - JOURNAL SELPER

VOL. 29, Nº 2, 2009

ECUADOR 1980 - 1983 | CHILE 1983 - 1986 | BRASIL 1986 - 1989 | ARGENTINA 1989 - 1991 | PERU 1991 - 1993 | COLOMBIA 1993 - 1995 | MEXICO 1995 - 1997 | VENEZUELA 1997 - 1999 | ARGENTINA 2000 - 2002 | BOLIVIA 2002 - 2004 | CHILE 2004 - 2006 | COLOMBIA 2006 - 2008 | CUBA 2008 - 2010